

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO DIÂMETRO E NA ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM CHERNOSSOLO, SASKATCHEWAN, CANADÁ

EDIVALDO LOPES THOMAZ

Recibido: 28-12-10

Recibido con revisores: 03-05-11

Aceptado: 08-05-11

TEMPERATURE EFFECT ON AGGREGATE DIAMETER AND STABILITY IN A CHERNOZEM FROM SASKATCHEWAN, CANADA

ABSTRACT

The role of fire on environmental processes is widely reported in several Earth ecosystems. Fire affects environmental processes (e.g. infiltration, erodibility, organic matter dynamic etc.). The objectives of this laboratory study were: 1) to establish the effect of temperature on aggregate stability in a Chernozem soil from a temperate environment; 2) to evaluate two procedures to detect such effects on soil aggregates (i.e. dry and wet sieving); 3) to use different indexes to measure possible changes in aggregate distribution and stability (mean weight diameter, geometric mean diameter and aggregate stability). The samples were heated in a muffle furnace, and subjected to the following treatments: control (room temperature), 200 °C and 300 °C for 20 minutes and 580 °C for 10 minutes. The Chernozem soil was affected by the different temperatures. At 200 °C, there was a decrease in the geometric mean diameter, mean weight diameter and the soil aggregate stability. Aggregates of 2.8 mm were most influenced by this temperature. On the other hand, the 580 °C temperature caused an increase in these indexes. The 300 °C temperature caused intermediate response compared to other temperatures. The wet sieving was the most efficient technique to detect the temperature effects on soil.

Key words. Dry and wet sieving, mean diameter, geometric mean diameter.

RESUMO

O papel do fogo nos processos ambientais é amplamente reportado nos diversos ecossistemas da Terra. O fogo influencia diversos processos ambientais no solo (e.g. infiltração, erodibilidade, dinâmica de matéria orgânica etc.). Os objetivos deste ensaio realizado em laboratório foram: 1) verificar o efeito da temperatura na estabilidade de agregados em Chernossolo de ambiente temperado; 2) avaliar dois procedimentos para se detectar tal efeito nos agregados do solo (i.e. peneiramento seco e peneiramento submerso em água); 3) aplicar diferentes índices para mensurar possíveis mudanças na distribuição e na estabilidade de agregados (diâmetro médio, diâmetro médio geométrico e estabilidade de agregados em porcentagem). As amostras foram aquecidas em Forno Mufla, sendo submetidas aos seguintes tratamentos: controle (temperatura ambiente), 200 °C e 300 °C por 20 minutos e 580 °C durante 10 minutos. O solo foi afetado pelas diferentes temperaturas aplicadas. Na temperatura de 200 °C, verificou-se diminuição no diâmetro médio, no diâmetro médio geométrico e na estabilidade de agregados do solo. Os agregados de 2,8 mm foram os mais influenciados por esta temperatura. De modo contrário, a temperatura de 580 °C causou aumento nos referidos índices. A temperatura de 300 °C causou resposta intermediária em comparação as demais temperaturas. O peneiramento submerso em água foi a técnica mais eficiente na detecção do efeito da temperatura no solo.

Palavras-chave. Peneiramento seco e úmido, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico.

INTRODUÇÃO

O papel do fogo nos processos ambientais é amplamente reconhecido e relatado nos diversos ecossistemas da Terra. De tal modo, o fogo é considerado um importante agente hidrológico, geomorfológico e ecológico que influencia direta e indiretamente toda a dinâmica ambiental de uma bacia de drenagem ou ecossistema (Doerr *et al.*, 2000; Shakesby & Doerr 2006). Frente à perspectiva de mudanças climáticas os incêndios florestais deverão ser mais frequentes também nos diferentes ecossistemas latino-americanos (FAO 2001).

A temperatura tende a ser alta na superfície do solo (1150 °C) e a decrescer à medida do aumento da profundidade (17°C a 7 cm de profundidade). A mensuração realizada em um mesmo incêndio a temperatura do solo em diferentes profundidades foi: superfície (500-750 °C); 2 cm (350-450 °C); 3 cm (150-300 °C) e 5 cm (< 100°C) (Úbeda & Outeiro, 2009). De tal modo, a maioria das mensurações da temperatura no solo é realizada em profundidade não superior a 10 cm, pois abaixo dessa profundidade pouco aumento da temperatura e efeito no solo tem sido observado (Úbeda & Outeiro, 2009).

A variação de intensidade do fogo (temperatura/duração) na superfície tem influência no aumento da erodibilidade do solo (Giovannini *et al.*, 2001). Os macroagregados são os mais afetados pela temperatura. A queima destrói materiais orgânicos (raízes, filamentos de fungos, matéria orgânica transiente) que são importantes agentes cimentantes de macroagregados.

O fogo causa, ainda, diversas mudanças diretas e indiretas no solo: afeta a estabilidade de agregados, altera a infiltração, aumenta o escoamento superficial, aumenta a perda de solo entre outras (Inbar *et al.*, 1998; Huffman *et al.*, 2001; Shakesby *et al.*, 2003; Certini 2005; Úbeda & Bernia, 2005; Shakesby & Doerr 2006; Fox *et al.*, 2007; Thomaz, 2009). O fogo afeta também as propriedades físicas (tamanho e distribuição dos poros, estabilidade dos agregados) e químicas do solo (mineralogia e pH) (Ketterings & Bigham 2000; Doerr & Cerdá, 2005).

Ocorre também influência na dinâmica biológica e na qualidade de água em áreas afetadas pelo fogo. Araújo *et al.* (2004) constataram que a composição da comunidade de formigas foi afetada pelo fogo em palhada de cana-de-açúcar. Os autores reportam que logo após a queima, houve redução na frequência de captura de espécies de formigas. A persistência do efeito do fogo sobre a comunidade de formigas foi notada até após 270 dias da queima controlada.

Temporetti (2006) verificou a persistência na deterioração da qualidade de águas em arroios após três anos de incêndios florestais. Segundo o autor, as concentrações de nitratos foram mais elevadas nos locais queimados em comparação com locais onde não ocorreram incêndios. Igualmente, Bran *et al.* (2007) destacam o efeito da severidade do fogo no restabelecimento de espécies vegetais. Além disso, esses mesmos autores destacaram outras possíveis conseqüências negativas da aplicação do fogo sobre o solo como erosão e perda de fertilidade.

Em teste em laboratório com Forno Mufla, o solo tem sido submetido à diferente tempo de exposição ao calor. Letey (2001) reporta estudos em que a exposição de material à temperatura durou 2, 5, 10 e 20 minutos, Garcia-Corona *et al.* (2004) destacaram exposição de material por 30 minutos, enquanto Ketterings & Bigham (2000) expuseram o solo a determinada temperatura por até 8 horas. Ulery & Graham (1993) classificaram a intensidade do fogo em três categorias: entre 100-250 °C baixa intensidade; 300-400 °C intensidade média e 500 °C mais alta intensidade.

Acredita-se que o tempo de exposição à temperatura de 20 minutos nas referidas temperaturas, seja suficiente para causar efeito na estabilidade de agregados e no diâmetro dos agregados do solo. Além disso, poucos estudos têm avaliado o efeito da temperatura na mudança do diâmetro de agregados do solo.

Os objetivos deste ensaio realizado em laboratório foram: 1) verificar o efeito da temperatura na estabilidade de agregados em Chernossolo de ambiente temperado; 2) avaliar dois procedimentos para se detectar tal efeito nos agregados do solo (peneiramento seco e peneiramento submerso em água); 3) aplicar diferentes índices para mensurar possíveis mudanças na distribuição e na estabilidade de agregados (diâmetro médio, diâmetro médio geométrico e estabilidade de agregados em porcentagem).

MATERIAL E MÉTODO

Características do solo e do local de proveniência

O experimento foi realizado com solo proveniente de ambiente temperado, com amostras tomadas num solo localizado em Saskatchewan-Canadá. As principais características do local onde foram coletadas as amostras, bem como as características do solo (0-20 cm), podem ser observadas no Tabela 1.

Mensuração do efeito das temperaturas

Cinqüenta gramas (50g) de solo obtido a partir de peneiramento em peneira de 8,0 mm foram submetidas aos seguintes tratamentos: controle (temperatura ambiente), 200 °C e 300 °C por 20 minutos e 580 °C durante 10 minutos. Foram realizadas 5 repetições em cada tratamento. Após a retirada das amostras do forno (Mufla), elas permaneceram em temperatura aproximada de 22 °C por 24 horas. Posteriormente, as amostras foram submetidas a dois métodos disruptivos: peneiramento seco e peneiramento submerso em água.

Os dados foram tabulados e tratados por meio do software BioEstat 5.0. A análise dos dados foi realizada da seguinte forma: 1) estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação); 2) Foi realizada a comparação de médias pareadas para todos os tratamentos pelo teste *t*. A aplicação das técnicas e análises estatísticas seguiu as recomendações e procedimentos contidos em Vieira (1999).

Peneiramento seco (PS)

As amostras (50g) foram peneiradas por 30 segundos em agitador de peneira eletromecânico para separar as classes de agregados. As amostras foram fracionadas de acordo com as seguintes classes granulométricas: 2,8 mm; 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm. Em seguida, pesou-se a fração retida em cada peneira.

Peneiramento submerso em água (PU)

O material foi submetido à imersão para umedecimento via capilar por 5 minutos. Em seguida, o material foi agitado

levemente com movimentos ascendente e descendente por 20 minutos (40 rpm). O procedimento empregado no peneiramento submerso foi adaptado a partir de Yoder (1936). O material retirado das peneiras foi seco a 105 °C por 24 horas, em seguida foi pesada a fração retida em cada peneira. Foram utilizadas as mesmas aberturas das peneiras aplicadas ao peneiramento seco. A fração areia e silte grosso foram corrigidas através de peneira com abertura de 0,053 mm.

Em ambos os procedimentos a distribuição e quantidade de agregados (peso-volume) de uma peneira para outra foi obtida por meio da razão entre a quantidade de agregados retidos em cada peneira pelo total de material avaliado (Equação 1). A fração areia contida nos agregados foi desconsiderada nas análises. Os índices dos agregados: agregado retido na peneira em porcentagem, diâmetro médio, diâmetro médio geométrico e estabilidade de agregados em porcentagem, foram obtidos por meio das equações abaixo:

$$A\% = \frac{PAR}{PAT} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

A% = Agregado retido na peneira em porcentagem

PAR = Peso de agregado retido na peneira (g)

PAT = Peso total da amostra total (g)

$$DMA = \sum x_i y_i \quad \text{Equação 2}$$

DMA = Diâmetro Médio de Agregados

Tabela 1. Características do local e do solo avaliado.

Table 1. Site and soil characteristics.

Características	Canadá (Swinton, Saskatchewan)
Clima	¹ Clima regional frio continental, média de temperatura em janeiro (-20 °C) e em julho (20 °C), Precipitação média anual 350 mm, 30% precipita em forma de neve, O regime de umidade é marcado por transição entre semi-árido e sub-úmido, Vegetação predominante: campos-pradaria (gramíneas).
Solo	² Litologia (Loess), Swinton silt loam (Chernozem), Areia 38,3%; Silte 42,9%; Argila 19,7%, Argila predominante esmectita. CEC (cmol/kg) 17,93, pH 5,73, Carbono 1,62%.
	³ Granulometria
	%
	2,80 mm
	2,00 mm
	1,00 mm
	0,50 mm
	0,25 mm
	<0,25 mm
Total	100,0

Fonte: ¹Martz (1992); ²Bryan (1996); ³(este estudo).

- x_i = Diâmetro médio da classe de agregados (mm)
 y_i = Proporção de agregado retido em cada classe em relação à amostra total

$$DMG = \exp\left(\frac{\sum PA_i \ln DMC_i}{\sum PTA_i}\right) \quad \text{Equação 3}$$

DMG= Diâmetro Médio Geométrico

PA_i = Peso de agregado de cada classe (g)

$\ln DMC_i$ = Logaritmo natural do diâmetro médio da classe

PTA_i = Peso Total da Amostra

$$EA\% = \frac{PAR - PA < 0,25\text{mm} - \text{areia}}{PTA - \text{areia}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

EA% = Estabilidade de Agregados em porcentagem

PAR = Peso de Agregados Retidos >0,25 mm

PA = Peso de Agregados <0,25 mm

PTA = Peso Total da Amostra

Os índices apresentam interpretações diferentes, o DMA aumenta à medida que agregados maiores fica retido nas peneiras, o DMG indica a classe de agregados mais freqüente no solo e a EA% pode variar de 1 a 100% e indica a agregação de acordo com o tratamento aplicado no solo (e.g. manejo do solo) (Kemper & Rosenau 1986; Castro Filho et al., 2002; Díaz-Zorita et al., 2002).

Análise de Dados

Os dados foram tabulados e tratados por meio do software BioEstat 5.0. A análise dos dados foi realizada da seguinte forma: 1) estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação); 2) análise de variância univariada (ANOVA); 3) comparação de médias pelo teste *t*. A aplicação das técnicas e análises estatísticas seguiu as recomendações e procedimentos contidos em Vieira (1999).

RESULTADOS

Não foi observada diferença estatística significativa entre os tratamentos avaliados por meio do peneiramento seco (PS). A distribuição granulométrica registrou maiores variações nos agregados de 2,8 mm e nos inferiores a 0,25 mm. As amostras no peneiramento seco tiveram maior porcentagem de agregados de 2,8 mm, redução de agregados de 2,0 mm, e aumento na fração dos agregados inferiores a 0,25 mm (Tabela 2).

As amostras submetidas ao peneiramento submerso em água (PU) apresentaram maior heterogeneidade na resposta as temperaturas, sendo que em algumas classes de agregados e em determinados tratamentos ocorreram diferenças estatísticas significativas, enquanto, em outras situações isso não ocorreu. Por exemplo, o tratamento com temperatura de 580 °C apresentou comportamento semelhante ao controle (Tabela 3).

A diferença mais evidente ocorreu nas temperaturas de 200 °C e 300 °C, especialmente, nos agregados de 2,8 mm. No caso dos agregados submetidos a temperaturas de 200 °C, devido a ruptura dos agregados de 2,8 mm houve aumento de 46,3% nas classes de agregados de 0,25 mm e de 18,8% na inferior a 0,25 mm. Por sua vez, nos agregados submetidos a temperaturas de 300 °C a ruptura dos agregados de 2,8 mm fez aumentar as classes de agregados de 1,0 mm e 0,5 mm em 31,9% e 42,7%, respectivamente. Na temperatura de 580 °C ocorreu 20,7% mais retenção de agregados de 2,8 do que no controle.

Não foram detectadas mudanças significativas no DMG (média $0,97 \pm 0,02$ mm) nos tratamentos submetidos ao PS (Fig. 1). No procedimento PU não ocorreu diferença significativa apenas entre o tratamento controle e solo que recebeu temperatura de 300 °C. O DMG diminuiu 5,6% entre o controle (0,94 mm) e o solo aquecido a 200 °C (0,89 mm). Na maior temperatura (580 °C)

Tabela 2. Porcentagem de agregados de para os diferentes tratamentos submetidos a peneiramento seco*.

Table 2. Percentage of aggregates according to different treatments subjected to dry sieving.

Classe de Agregados	Controle	200 °C	300 °C	580 °C
2,8 mm	22,6 ± 6,3	17,7 ± 2,2	21,7 ± 5,4	19,7 ± 0,3
2,0 mm	6,4 ± 0,5	5,6 ± 0,5	6,5 ± 0,8	6,5 ± 0,4
1,0 mm	12,4 ± 0,7	11,8 ± 0,3	11,7 ± 1,1	11,7 ± 0,3
0,5 mm	13,7 ± 1,3	14,5 ± 0,2	13,5 ± 0,6	13,8 ± 0,3
0,25 mm	15,5 ± 1,4	17,0 ± 0,8	15,9 ± 1,8	16,0 ± 0,7
<0,25 mm	29,4 ± 3,2	33,4 ± 1,9	30,7 ± 4,8	32,3 ± 0,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

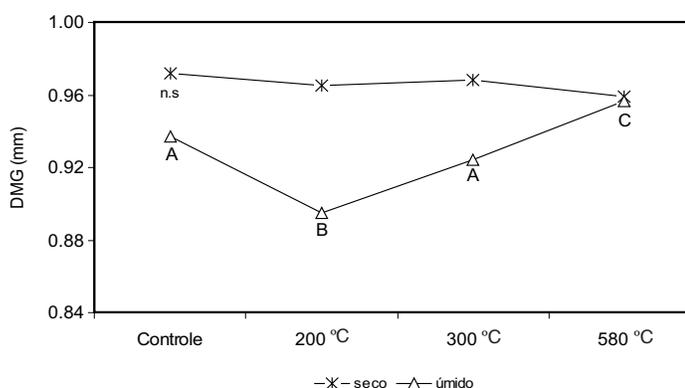
Nota: *Não houve diferença significativa em nenhum tratamento ($P > 0,05\%$)

Tabela 3. Porcentagem de agregados para os diferentes tratamentos submetidos a peneiramento submerso em água.
Table 3. Soil aggregate percentage according to different treatments subjected to wet sieving.

Classe de Agregados	Controle	200 °C	300 °C	580 °C
2,8 mm	17,4 ± 4,0A	3,5 ± 1,4B	7,4 ± 1,9B	21,0 ± 4,3A
2,0 mm	7,3 ± 1,0A	6,0 ± 0,9A	7,2 ± 0,7A	7,3 ± 0,8A
1,0 mm	9,4 ± 0,5A	8,5 ± 1,3A	12,4 ± 1,1B	10,2 ± 0,9A
0,5 mm	12,4 ± 0,5A	13,6 ± 1,2A	17,7 ± 1,6B	13,2 ± 2,3A
0,25 mm	17,5 ± 1,0AD	25,6 ± 1,1B	20,6 ± 1,1CA	16,5 ± 3,5D
<0,25 mm	36,0 ± 2,9A	42,8 ± 4,2B	34,7 ± 1,8A	31,8 ± 4,2A
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Nota. Letras iguais na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste t.

Figura 1.
Diâmetro médio geométrico de agregados (mm) submetidos a diferentes temperaturas e avaliados por peneiramento seco e submerso em água.
Nota: n.s (não significante); médias seguidas de letras iguais não diferem ao nível de 5% pelo teste t.
Figure 1.
Geometric mean diameter of aggregates (mm) in different temperatures and assessed by dry and wet sieving.

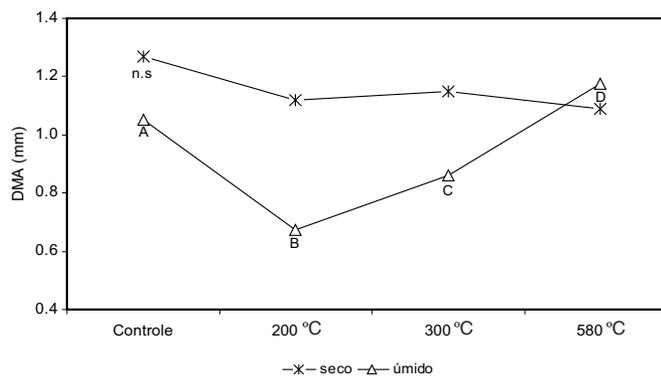


houve equivalência no DMG (0,96 mm) em ambos os procedimentos adotados (PS e PU).

No PS não se registrou alteração estatisticamente significativa no DMA. Em contrapartida, no PU observou-se diferenças significativas no DMA em todos os tratamentos (Fig. 2). O DMA foi alto no solo controle (1,05 mm) e decresceu 56,7% no solo submetido a temperatu-

ra de 200 °C (0,67 mm). Posteriormente, houve aumento gradual no DMA nas temperaturas maiores. O DMA na temperatura de 580 °C (1,18 mm) foi apenas 7,6% inferior ao registrado no controle submetido ao procedimento PS (1,27 mm) e 12,3% superior ao solo controle submetido a PU. Não houve diferença significativa ($P > 0,05\%$) no DMA na temperatura de 580 °C no dois procedimentos aplicados (PS e PU).

Figura 2.
Diâmetro médio de agregados (mm) submetidos a diferentes temperaturas e avaliados por peneiramento seco e submerso em água.
Nota: n.s (não significante); letras iguais não diferem ao nível de 5% pelo teste t.
Figure 2.
Mean weight diameter of aggregates (mm) under different temperatures, assessed by dry and wet sieving.



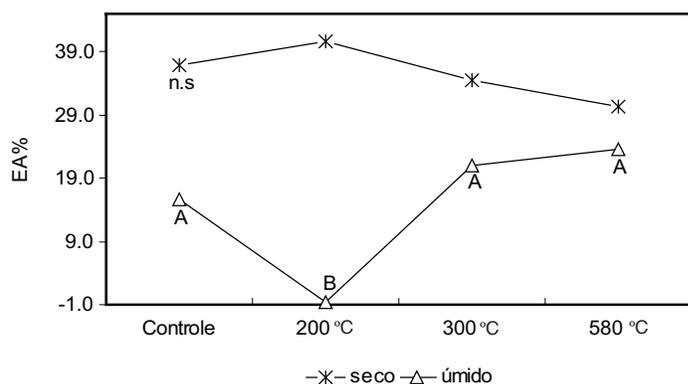


Figura 3.

Estabilidade de agregados (%) submetidos a diferentes temperaturas e avaliados por peneiramento seco e submerso em água.

Nota: n.s (não significante); média seguida de letras iguais não difere ao nível de 5% pelo teste *t*.

Figure 3.

Aggregates stability (%) in different temperatures and assessed by dry and wet sieving.

Do mesmo modo que nas demais avaliações, não houve diferenças significativas na EA nos solos em que foi aplicado PS (Fig. 3). Observou-se que a EA foi 2,3 vezes inferior no controle quando este foi submetido ao peneiramento por via úmida. No PU apenas o solo submetido à temperatura de 200 °C apresentou diferença na EA. Nas demais temperaturas (300 °C e 580 °C) houve gradual incremento na EA de 34,0% e 50,3% respectivamente em comparação ao solo controle. Não ocorreu diferença significativa ($P > 0,05\%$) nos dois procedimentos aplicados (PS e PU) na temperatura de 580 °C.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Observou-se que neste estudo os agregados de 2,0 mm foram os mais afetados, especialmente, nas temperaturas de 200 °C. Esta temperatura foi possivelmente suficiente para destruir os agentes cimentantes dos agregados maiores. Este efeito influenciou nos índices DMG, DMA e na EA% que foram sempre inferiores na referida temperatura. Neste mesmo solo, Thomaz (2008), constatou repelência (hidrofobia), contudo ocorreu tendência na redução no tempo TPGA (Tempo de Penetração de Gota de Água) à medida que houve aumento das temperaturas aplicadas ao solo. Portanto, neste solo (Chernozem, Swinton silt loam) as diferentes temperaturas tiveram efeito tanto nas características dos agregados, quanto na repelência.

Em alguns casos o fogo gera nova agregação de partículas devido à recristalização de óxidos de Fe e Al (Certini 2005; Úbeda & Bernia 2005; Shakesby & Doerr 2006; Fox *et al.*, 2007). Este tipo de resposta ocorreu provavelmente nas temperaturas maiores 300 °C e 580 °C,

sobretudo nesta última. Pois, muitas vezes os índices avaliados nesta temperatura foram superiores ao material controle, até mesmo quando os agregados obtidos por PU foram comparados aos obtidos por PS.

Certini (2005) em extensiva revisão sobre o efeito do fogo nas propriedades de solos de floresta destaca que: ocorre diminuição da estabilidade estrutural; aumenta a densidade do solo; a estrutura mineralógica pode mudar em temperaturas acima de 500 °C; ocorre redução de matéria orgânica; existe redução na capacidade de troca de cátions entre outras mudanças.

Frente à perspectiva de mudanças climáticas os incêndios florestais deverão ser mais frequentes também nos diferentes ecossistemas brasileiros (FAO, 2001). Portanto, torna-se um importante desafio investigar e prever os efeitos do fogo nos processos ambientais em cenários de mudanças climáticas globais e de uso da terra (Shakesby & Doerr, 2006 p. 2227).

Por fim, outro aspecto relevante na América Latina além dos incêndios florestais são as práticas de agropecuárias que utilizam o fogo para limpeza do terreno (Mau-solff & Farber, 1995; Salcedo *et al.*, 1997; Silva-Forsberg & Fearnside, 1997; Grau & Brown, 2000; Bran, *et al.*, 2007; Thomaz, 2009). Temperaturas de queima relativamente baixas (100-250 °C, Ulery & Graham, 1993) podem ser facilmente alcançadas pelo fogo, influenciando especialmente, a estabilidade dos macroagregados. Portanto, nas áreas agrícolas que utilizam fogo para limpeza do terreno, distúrbios no topo do solo podem ocorrer, resultando em influências nos processos ambientais.

As amostras do Chernossolo foram afetadas pelas diferentes temperaturas. Entretanto, a resposta do solo

foi diferente para cada uma das temperaturas aplicadas. Na temperatura de 200 °C, verificou-se o maior efeito no diâmetro médio, no diâmetro médio geométrico e na estabilidade de agregados do solo. Os agregados de 2,8 mm foram os mais influenciados por esta temperatura.

A temperatura de 300 °C causou resposta intermediária em comparação as demais temperaturas. Por sua vez, a temperatura de 580 °C causou o aumento no diâmetro médio geométrico, no diâmetro médio e na estabilidade de agregados do solo, sendo em muitas análises igual ou superior ao solo controle, mesmo quando este foi submetido ao peneiramento seco.

Através do peneiramento seco não foi possível detectar o efeito da temperatura no solo. Ao contrário, o peneiramento submerso em água foi mais eficiente na detecção do efeito da temperatura no solo. Assim, é recomendado que esta deva ser uma das técnicas padrão neste tipo de investigação.

Os índices utilizados (diâmetro médio, diâmetro médio geométrico e estabilidade de agregados em porcentagem) foram importantes para identificar a mudança nos diâmetros dos agregados do solo, bem como na estabilidade dos agregados. Pois, os índices são influenciados por um comportamento específico relacionado a cada classe de agregado presente no solo. Portanto, esses índices também devem ser aplicados na investigação do efeito da temperatura no solo.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo, que por meio de bolsa de doutoramento (CNPq) permitiu que esta pesquisa fosse realizada. Ao Prof. Rorke B. Bryan (Universidade de Toronto, Canadá) pela orientação durante a pesquisa. Agradeço também a contribuição dos revisores anônimos no aprimoramento deste trabalho.

BIBLIOGRAFÍA

- Araújo, MS; TMC Della Lucia; CE Veiga & IC Nascimento. 2004. Efeito da queima da palhada de cana-de-açúcar sobre comunidade de formicídeos. *Ecol. Austral* 14: 191-200.
- Bran, D; GA Cecchi; JJ Gaitán; JA Ayesa & CR López. 2007. Efecto de la severidad de quemado sobre la regeneración de la vegetación en el Monte Austral. *Ecol. Austral* 17: 123-131.
- Bryan, RB. 1996. Erosional response to variations in inter-torm weathering conditions. (Cap. 26) pp. 589-612. In: Anderson, MG & SM Brooks (ed.). *Advances in hillslope processes*, Vol. 1. John Wiley & Sons, New York. 1295pp.
- Castro Filho, C; A Lourenço; MF Guimarães & ICB Fonseca. 2002. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil Till. Res.* 65: 45-51.
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143: 1-10.
- Díaz-Zorita, M; E Perfect; JH Grove. 2002. Disruptive methods for assessing soil structure: review. *Soil Till. Res.* 64: 3-22.
- Doerr, SH & A Cerdà. 2005. Fire effects on soil system functioning: new insights and future challenges. *International Journal of Wildland Fire* 14(4): 339-342.
- Doerr, SH; RA Shakesby & RPD Walsh. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeo-morphological significance. *Earth-Science Reviews* 51: 33-65.
- FAO. 2001. Global forest fire assessment 1990-2000. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Department, Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 55, Rome.
- Fox, DM; F Darboux & P Carrega. 2007. Effects of fire-induced water repellency on soil aggregate stability, splash erosion, and saturated hydraulic conductivity for different size fractions. *Hydrological Processes* 21: 2377-2384.
- García-Corona, R; E Benito; E Blas & ME Varela. 2004. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behavior in two north-western Spanish soil. *International Journal of Wildland Fire* 13(2): 195-199.
- Giovannini, G; R Vallejo; S Lucchesi; S Bautista; S Ciompi & J Llovet. 2001. Effects of land use and eventual fire on soil erodibility in dry Mediterranean conditions. *Forest Ecology and Management* 147: 15-23.
- Grau, A & AD Brown. 2000. Development threats to biodiversity and opportunities for conservation in the mountain ranges of upper Bermejo River Basin, NW Argentina and Bolívia. *Ambio* 29: 445-450.
- Huffman, EL; LH Macdonald & JD Stednick. 2001. Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine, Colorado Front Range. *Hydrological Processes* 15: 2877-2892.
- Inbar, M; M Tamir & L Wittenberg. 1998. Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology* 24: 17-33.
- IPCC-GTI. Climate Change 1995. The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Kemper, WD & RC Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. (Cap. 17). pp. 425-442. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis* (part 1). Physical and mineralogical methods. SSSA Book Series n.5. Madison, Wisconsin USA. 1188pp.
- Ketterings, QM & JM Bigham. 2000. Soil Color as an Indicator of Slash-and-Burn Fire Severity and Soil Fertility in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1826-1833.
- Letej, J. 2001. Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. *Hydrological Processes* 15: 2867-2875.
- Martz, LW. 1992. The variation of soil erodibility with slope position in a cultivated Canadian prairie landscape. *Earth Surf. Process. Landforms* 17: 543-556.
- Mausolff, C & S Farber. 1995. An economic analysis of ecological agricultural technologies among peasant farmers in Honduras. *Ecological Economics* 12: 237-248.
- Salcedo, IH; H Tiessen & EVSB Sampaio. 1997. Nutrient availability in soil samples from shifting cultivation in the semiarid Caatinga of NE Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 65: 177-186.
- Shakesby, RA & SH Doerr. 2006. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews* 74: 269-307.
- Shakesby, RA; C Chafer; SH Doerr; WH Blake; P Wallbrink; GS Humphreys & BA Harrington. 2003. Fire severity, water repellency characteristics and hydrogeomorphological changes following the Christmas 2001 Sydney forest fires. *Australian Geographer* 34(2):147-175.
- Silva-Forsberg, MC & PM Fearnside. 1997. Brazilian Amazonian caboclo agriculture: effect of fallow period on maize yield. *Forest Ecology and Management* 97: 283-291.
- Temporetti, PF. 2006. Efecto a largo plazo de los incendios forestales en la calidad del agua de dos arroyos en la sub-región Andino-Patagónica, Argentina. *Ecol. Austral* 16: 157-166.
- Thomaz, EL. 2008. Efeito da temperatura na repelência de água no solo: ensaio em laboratório. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 13: 57-64.
- Thomaz, EL. 2009. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss. *Agric. Ecosyst. Environ.* 130: 23-30.
- Úbeda, X & S Bernia. 2005. The effect of wildfire intensity on soil aggregate stability in the Cadiretes Massif, NE Spain. In: Geomorphological processes and human impacts in river basins (Proceedings of the International Conference Held at Solsona, Catalonia, Spain, May 2004), *IAHS Publ.* 299: 37-45.
- Úbeda, X & LR Outeiro. 2009. Physical and chemical effects of fire on soil. In: Cérda A & P R Robichaud (ed.) *Fire effects on soils and restoration strategies*. Vol. 5. Pp.105-132. Science Publishers. New Hampshire, United State of America. 589pp.
- Ulery, AL & RC Graham. 1993. Forest fire effects on soils color and texture: *Soil Science Society of America Journal* 57: 135-140.
- Viera, S. 1999. *Estatística experimental*. Atlas. São Paulo, Brasil. 185pp.
- Yoder, RE. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.* 28: 337-351.