

Influência da concentração de extratos hidrofóbicos na repelência à água em solos arenosos

Yorleni Chang Cambroner¹, Claudia Maria Branco de Freitas Maia², Renato Antônio Dedecek²,
Fabrício Augusto Hansel²

¹Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050, Curitiba, PR, Brasil; yorchang@hotmail.com; ²Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, CP 319, CEP 83411-000, Colombo, PR, Brasil, dedecek@terra.com.br; claudia.maia@cnpf.embrapa.br; hansel@cnpf.embrapa.br

Resumo - A repelência à água é estudada em vários solos do mundo, sendo os casos mais extremos encontrados em solos arenosos. Acredita-se que a repelência à água seja causada pelo recobrimento das partículas do solo por compostos hidrofóbicos derivados da decomposição de plantas. Este trabalho avaliou a influência da concentração de extratos hidrofóbicos de um Neossolo sob plantio de *Pinus taeda*, na repelência à água em amostras de um solo arenoso preparado em laboratório, com diferentes teores de matéria orgânica. Os extratos hidrofóbicos do solo original foram extraídos com clorofórmio:acetona, seguido de isopropanol:amônia. Os tratamentos constaram de mistura de areia com sete níveis de matéria orgânica (0%; 3%; 6,5%; 6,5% + 10% de ácido húmico (AH); 6,5% + 30% de AH; 6,5% + 50% de AH; e 10%), aos quais foram aplicadas três concentrações de extrato hidrofóbico (CEH). As amostras foram secas a diversas temperaturas antes dos testes de repelência. As CEHs induziram à repelência à água nos tratamentos, em diferentes intensidades, porém estes valores foram inferiores aos encontrados no solo original. Os tratamentos com CEH de 2,88 g kg⁻¹ tiveram os maiores tempos de repelência.

Termos de indexação: Hidrofobicidade, *Pinus taeda*, WDPT.

Water repellency of sandy soil as a function of hydrophobic concentration

Abstract - Soil water repellency has been reported worldwide being most extremes cases observed in sandy soils. Soil water repellency is accepted to be caused by recovering of soil particles by hydrophobic compounds originated from plant decomposition. This work aimed to evaluate the influence of concentration of hydrophobic extracts from a forest soil under *Pinus taeda* on water repellency of sandy soil with different organic matter content. Hydrophobic compounds were extracted from a severely hydrophobic Lithosol, using chloroform:acetone, followed by isopropanol:ammonia. The water drops penetration time test (WDPT) was applied in dried samples under four temperatures, seven treatments (sand with 0%; 3%; 6.5%; 6.5% + 10% of humic acid (AH); 6.5% + 30% of AH; 6.5% + 50% of AH; and 10% of charcoal as organic matter), and three levels of hydrophobic extract. The extracted material induced hydrophobicity in all treatments, in variable intensity, but lower than those found in the original Lithosol. Treatments with extract level 1 (2.88 g kg⁻¹) presented the highest times of water repellency.

Index terms: Hydrofobicity, *Pinus taeda*, WDPT.

Introdução

A repelência ou hidrofobicidade reduz a molhabilidade e a capacidade de infiltração de água do solo (King, 1981; Doerr et al., 2000; Dekker & Ritsema, 2003; Buczko et al., 2005), podendo acarretar problemas como a diminuição da água disponível no solo, da taxa de germinação de sementes e do crescimento vegetal, além de contribuir para o aumento do escoamento superficial da água e da erosão, principalmente em áreas declivosas, tipicamente usadas nos plantios florestais.

A repelência à água em solos vem sendo estudada desde o início do século 20 e desde então é relatada em várias partes do mundo, sob diversas condições climáticas e usos da terra (Roberts & Carbon, 1972; Nakaya et al., 1977; Jex et al., 1985; Giovannini et al., 1983; Chan, 1992; Peng et al., 2003). No Brasil, a repelência à água foi identificada em: Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso e Podzólico Vermelho-Amarelo arenoso, sob mata secundária (Pérez et al., 1998); no Rio de Janeiro, em Gleí Tiomórfico sob

campo (Pérez et al., 1998) e em Podzol Hidromórfico sob gramíneas (Pérez et al., 1998); no Maranhão em areia quartzosa e solo aluvial, sob palmeiras (Pérez et al., 1998); no Mato Grosso, sob pastagens, lavouras e florestas (Johnson et al., 2005) e no Paraná e em São Paulo sob plantios florestais (Maia et al., 2005).

Em solos florestais, Maia et al. (2005) identificaram diferentes graus de repelência em plantios de pinus e eucaliptos, revelando, também, a maior incidência de repelência em solos com maior teor de areia e/ou de matéria orgânica (MO).

Acredita-se que a repelência à água seja causada pelo recobrimento das partículas do solo por compostos hidrofóbicos derivados da decomposição de plantas e da atividade microbiana (Atanassova & Doerr, 2010; Buczko et al., 2005; Doerr et al., 2000). A intensidade da repelência à água está associada a fatores tais como, quantidade e qualidade da matéria orgânica, alternância de chuvas e estiagens, umidade relativa do ar, textura do solo, conteúdo de água do solo, histórico de queimadas e tipo de cobertura vegetal (DeBano, 2003; Buczko et al., 2005). Alguns tipos de vegetação estão associados com a maior produção de substâncias hidrofóbicas, principalmente espécies com considerável quantidade de resinas, ceras e óleos aromáticos, tais como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (Doerr et al., 2000). Os extratos hidrofóbicos obtidos de solos sob plantação de *Pinus* spp., como os usados neste estudo, são formados por derivados do ácido hidroxicinâmico; ácidos α,ω -alcanedióicos; ácidos alcanóicos; ácidos ω -hidroxialcanóicos e alcanóis (Hansel et al., 2008). A cutina e a suberina, possíveis fontes destas substâncias no solo, são especialmente ricas em ácidos ω -hidroxialcanóicos, sendo que a primeira apresenta principalmente componentes C16 e C18, enquanto que na última predominam componentes de cadeia longa de C16-C24 (Morley et al., 2005).

Pesquisas anteriores têm mostrado que casos extremos de repelência à água foram constatados em solos com textura arenosa (Doerr et al., 2000; Horne & McIntosh, 2003; Wallis & Horne, 1992). Os mesmos autores explicam que isto acontece devido à maior facilidade de recobrimento das partículas grosseiras por substâncias hidrofóbicas, dada a sua menor superfície específica. Apesar dos solos com textura arenosa apresentarem maior susceptibilidade para desenvolver a repelência à água, existem muitos registros de hidrofobicidade em solos argilosos ou com textura fina. Por exemplo,

Chan (1992) encontrou amostras de solo com 25% a mais de 40% de argila, apresentando grau de repelência extremo. Bisdom et al. (1993) explicam que isto pode ocorrer porque as partículas de argila formam agregados, reduzindo assim a superfície específica que pode vir a ser recoberta com uma fina camada de substâncias hidrofóbicas; outros estudos apontam que, em certos ambientes, o aporte de material hidrofóbico pode ser tão elevado que, além de cobrir as partículas mais grosseiras, cobre também grande parte das partículas finas com um revestimento orgânico (Doerr et al., 1998). De modo geral, DeBano (2003) concluiu que é mais provável que a hidrofobicidade se desenvolva em solos com menos de 10% de argila. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a intensidade da repelência à água em misturas de areia com diferentes teores de matéria orgânica tratadas com extrato hidrofóbico.

Material e métodos

Obtenção do extrato hidrofóbico

As amostras de solo para a extração dos hidrofóbicos foram coletadas de 0 a 5 cm de profundidade, após a remoção da serrapilheira, em um plantio de *Pinus taeda* de 16 anos de idade, em Piraí do Sul, Paraná (24°31'34" S, 49°56'55" W). O solo foi classificado como Neossolo litólico (Santos et al., 2006), com textura arenosa (64 g 100 g⁻¹ areia) e caráter severamente hidrofóbico (Maia et al., 2005).

As extrações foram realizadas em Soxhlet de 500 mL, utilizando-se 200 g de amostra por extração, de solos previamente peneirados a 2 mm. Uma solução de clorofórmio:acetona (9:1, v/v) foi utilizada primeiramente para extrair a fração apolar, com refluxo de 12 h. A amostra foi seca à temperatura ambiente e uma parte foi usada para avaliar a repelência, aplicando-se o método do tempo de penetração de gotas de água (*water drops penetration time* (WDPT)). O extrato foi concentrado em evaporador rotativo a 45 °C a vácuo e seco em estufa a 45 °C até completa remoção dos solventes.

Após a primeira extração, a amostra de solo foi colocada novamente em Soxhlet com uma solução de isopropanol:amônia (IPA:NH₃), a 15,7 mol L⁻¹ NH₃, 7:3, v/v e refluxo de 24 h, para extrair a fração polar. A solução contendo o extrato foi concentrada em rotavapor, a 80 °C e liofilizado. Em seguida, o solo remanescente foi colocado para secar à temperatura ambiente. Depois

de seca, uma amostra de solo extraído foi novamente submetida ao teste WDPT, para verificar se houve redução no grau de repelência.

Preparo das misturas areia-matéria orgânica

Para o preparo do solo-teste, foi utilizada areia fina comercial, previamente lavada com água destilada e peneirada em malha de 53 μm , para eliminar o silte e argila residual. Uma solução HCl 3,0 mol L⁻¹ foi aplicada durante 24 h, para eliminar as cinzas. Em seguida, a solução ácida foi escoada e a areia tratada com uma solução de NaOH 3 mol L⁻¹, por 24 h, para remover resíduos orgânicos. Após a remoção da solução alcalina, a areia foi lavada três vezes com água destilada e seca à temperatura ambiente. Para representar a MO, utilizaram-se carvão comercial moído e ácido húmico (AH) extraído de carvão (Trompowski et al., 2005). O carvão representou a fração mais recalcitrante e hidrofóbica da MO do solo e o ácido húmico a principal fração das substâncias húmicas (SH) do solo, de maior acidez carboxílica e/ou fenólica, contribuindo para o aumento da sua reatividade e da capacidade de troca de cátions.

Delineamento experimental

Utilizou-se um arranjo fatorial 4×7×3, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos consistiram de sete níveis de MO misturados à areia, preparados de acordo com a Tabela 1, resultando em quatro misturas areia-carvão e três misturas areia-carvão-ácido húmico. As misturas de areia com MO foram tratadas com três níveis de extrato hidrofóbico. Os níveis foram determinados com base no rendimento de extrato IPA/NH₃ obtido do solo de origem, ou seja, 5,76 g de extrato por kg de solo. As concentrações de extrato hidrofóbico (CEH) usadas foram: i) CEH0: sem extrato hidrofóbico (testemunha); ii) CEH1: metade do rendimento (2,88 g kg⁻¹) e iii) CEH2: igual ao rendimento (5,76 g kg⁻¹).

Tabela 1. Porcentagens usadas no preparo das misturas areia-matéria orgânica.

Tratamento	Areia (%)	MO (%)	
		Carvão	Ácido húmico
1	100	0	0
2	97	3	0
3	93,5	6,5	0
4	93,5	5,85	0,65
5	93,5	4,55	1,95
6	93,5	3,25	3,25
7	90	10	0

Aplicação do extrato hidrofóbico

Os extratos foram inicialmente dissolvidos em metanol a aproximadamente 40 °C e adicionados às misturas de solo. Após a adição dos extratos, uma solução de metanol:clorofórmio (1:1 v/v) foi adicionada aos tratamentos para sua melhor distribuição e homogeneização. O frasco contendo a mistura foi lacrado e agitado por 2 h e, posteriormente, aberto e seco em estufa a 60 °C, para remover os solventes. As misturas foram acondicionadas em placas de Petri de 5 cm de diâmetro e volume médio de 25,6 cm³.

Medida do grau de repelência

O método adotado para determinar a repelência foi o WDPT (King, 1981), que mede o tempo gasto para que duas gotas de água sobrepostas (40 μL) penetrem na amostra de solo. Cada gota foi liberada de uma altura aproximada de 10 mm acima do solo, para minimizar o impacto na superfície. O grau de repelência à água dos solos por este método foi estabelecido conforme Bisdom et al. (1993) e segundo as classes: hidrofílico (< 5 s), levemente hidrofóbico (entre 6 s e 60 s), fortemente hidrofóbico (entre 61 s e 600 s), severamente hidrofóbico (entre 601 s e 3.600 s) e extremamente hidrofóbico (> 3.600 s). Para análise dos resultados, foi utilizada a média de quatro leituras de tempo para cada placa de Petri.

Umedecimento e ciclo de secagem

O teste de repelência foi aplicado a cada tratamento após secagem das amostras a quatro temperaturas crescentes (ambiente ou 23 °C, 40 °C, 70 °C e 105 °C). Para garantir mesmo grau de umidade às temperaturas mais altas, cada tratamento foi umedecido com 10 ml de água destilada e seco em estufa por 24 h, para remoção do excesso de água. Assim, as medidas foram feitas de acordo com o seguinte procedimento: i) a 23 °C as amostras foram secas ao ar; ii) a 40 °C, após o teste de repelência, à temperatura ambiente e ajuste da umidade inicial. Após a secagem, as amostras foram resfriadas em dissecador por 24 h, pesadas, homogeneizadas e um novo teste de repelência foi realizado; iii) a 70 °C, após o teste de repelência a 40 °C e após ajuste da umidade como descrito anteriormente; iv) a 105 °C, após o teste de repelência a 70°C e após ajuste da umidade, como descrito anteriormente. Os resultados foram submetidos à análise estatística e as variáveis, cujas variâncias mostraram-se homogêneas, tiveram as médias submetidas ao teste F. A análise de variância mostrou significância para a repelência em todos os tratamentos testados e suas interações (Tabela 3).

Resultados e discussão

Extração de substâncias hidrofóbicas

O Neossolo que deu origem ao extrato hidrofóbico apresentou caráter extremamente hidrofóbico (> 3.600 s). Após a extração com CHCl₃, novamente foi aplicado

o teste de repelência pelo método WDPT e a amostra se manteve extremamente hidrofóbica, porém, com tempo muito superior ao da amostra sem extração. Acredita-se que este aumento no tempo de repelência seja devido a um rearranjo induzido pelo clorofórmio da camada hidrofóbica que sofreria uma reorientação e redistribuição na camada mineral (Doerr et al., 2005). Após a extração com IPA/NH₃, a amostra tornou-se hidrofílica, evidenciando a eficiência do procedimento na remoção dos componentes hidrofóbicos (Tabela 2).

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Doerr et al. (2005), para os quais a repelência está pouco relacionada com a fração apolar da MO. Segundo Franco et al. (2000), análises físico-químicas da repelência à água em solos arenosos na Austrália indicaram que a fração anfifílica e polar da MO foi a que mais contribuiu com a hidrofobicidade do solo. Esta fração origina-se durante a decomposição e/ou degradação microbiana de componentes vegetais, principalmente derivados da cutina e da suberina (Hansel et al., 2008).

A massa extraída de substâncias hidrofóbicas com IPA/NH₃ foi de 5,76 g kg⁻¹ de solo. Doerr et al. (2005) obtiveram 1,22 g kg⁻¹, em florestas de pinus com solo levemente hidrofóbico. No mesmo estudo, a menor concentração de extrato (0,23 g kg⁻¹) foi obtida em duna hidrofílica com baixos teores de MO e a maior concentração (9,76 g kg⁻¹) foi encontrada na superfície de um solo arenoso sob pastagem, fortemente hidrofóbico e mais rico em MO.

Tabela 2. Grau de repelência do Neossolo antes e depois da extração com CHCl₃* e IPA/NH₃** e massa hidrofóbica extraída.

WDPT (s) e Grau de repelência ¹				Massa de extrato obtida (g kg ⁻¹)			
antes da extração		após extração*		após extração**		CH Cl ₃	IPA/NH ₃
9718	Extremamente hidrofóbico	15 334	Extremamente hidrofóbico	< 5	Hidrofílico	10,34±2,98	5,76±0,93

¹ Letey (1968); * clorofórmio: acetona (9:1, v/v) e ** isopropanol:amônia 15.7 M (7:3, v/v).

Caracterização da repelência à água nas misturas areia-matéria orgânica

A análise de variância mostrou significância entre variáveis com exceção para média geral das misturas areia-matéria orgânica (Tabela 3).

As médias de repelência observadas para os três níveis de extrato hidrofóbico (CEH, à α 0.05) foram

estatisticamente diferentes. Todos os tratamentos que não receberam extrato hidrofóbico (CEH 0) foram classificados como hidrofílicos, ou seja, com tempo de penetração das gotas d'água menor que 5 s. Os graus de repelência induzidos nos demais tratamentos foram inferiores ao encontrado no solo coletado no campo, mas se enquadraram nas classes hidrofóbicas. Houve

diferença significativa entre todos os tratamentos com diferentes níveis de concentração de extrato hidrofóbico (CH0, CH1 e CH2). À CEH1, a média geral do WDPT foi de 275 s, à CEH2, foi de 131 s e de 0 s à CEH0 (Tabela 4). De modo geral, as amostras que receberam ácido

húmico apresentaram os maiores graus de repelência entre tratamentos, indicando a interação entre os grupos carboxílicos dos AH com a extremidade funcionalizada das substâncias hidrofóbicas anfífilicas, aumentando a repelência da amostra.

Tabela 3. Análise de variância das médias da repelência para as variáveis independentes*.

Efeito	GL trat	Efeito QM	GL resíduo	QM	F	Nível p
1	2	1.001,239	168	3,417393	293,0095	0,000000
2	6	6,815	168	3,417393	1,9942	0,069137
3	3	239,907	168	3,417393	70,2016	0,000000
12	12	8,279	168	3,417393	2,4225	0,006339
13	6	143,268	168	3,417393	41,9230	0,000000
23	18	18,308	168	3,417393	5,3574	0,000000
123	36	18,497	168	3,417393	5,4125	0,000000

*Efeito das variáveis: 1. CEH; 2. Tratamento; 3. Temperatura. GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio.

Tabela 4. Médias de repelência à água (s) para tratamentos a diferentes temperaturas para as concentrações de extrato hidrofóbico (CEH) 1 e 2.

Areia %	Misturas		CH1				CH2			
	MO %		Temperatura °C				Temperatura °C			
	Carvão	AH	23	40	70	105	23	40	70	105
100	0	0	278e	100c	230cd	1433a	50d	105e	69e	253e
97	3	0	758c	46c	141e	553b	120c	154c	170d	411c
93,5	6,5	0	633d	155b	279b	364d	202b	135d	117e	352e
93,5	5,85	0,65	771c	185a	287b	472 c	194b	209a	211c	531a
93,5	4,55	1,95	705cd	158b	247c	533 b	250a	131d	275b	379d
93,5	3,25	3,25	1.024a	184a	455a	418c	208b	177b	322a	454b
90	10	0	894b	85c	204d	396cd	206b	130d	109e	294e

T.A.= temperatura ambiente; médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas diferem entre si pelo teste t (P<0,05).

As médias das repelências das amostras foram significativamente diferentes entre todas as temperaturas de secagem, com exceção entre a temperatura ambiente e a 105 °C. (α 0.05), que alcançaram as médias de repelência mais altas.

À CEH1 na temperatura ambiente, todos os tratamentos atingiram a faixa severamente hidrofóbico, com exceção do tratamentos areia sem MO, que se enquadrou como fortemente hidrofóbico. Os tratamentos que apresentaram os maiores tempos de repelência à água, nesta concentração de extrato, foram aqueles com 6,5% MO (50% de carvão e 50% de ácido húmico) (1.024 s), e com 90% areia e 10% de MO (894 s). Após a secagem a 40 °C dos tratamentos submetidos à CH1, a repelência dos tratamentos diminuiu, porém não foi totalmente quebrada, com grau de hidrofobicidade fortemente

hidrofóbico, à exceção do tratamento 97% areia + 3% carvão (levemente hidrofóbico). Nesta temperatura, a umidade das amostras estava num nível suficiente para amenizar a repelência nas amostras. Este fato decorreu do reumedecimento das amostras e tempo de secagem insuficiente a 40 °C, como pode ser verificado através das médias das umidades das amostras a cada concentração do extrato hidrofóbico (CEH, Figura 1A). Ainda a esta concentração de extrato e à CEH2, observa-se que, após secar as misturas às temperaturas mais altas, 70 °C e 105 °C por 24 h, a classe de repelência aumentou para todos os tratamentos, em relação às amostras secas a 40 °C, mostrando, assim, que o teor de água residual na amostra tem grande influência sobre a intensidade da repelência. Dekker & Ritsema (1994, 2003) afirmam existir um conteúdo crítico de umidade

no solo, abaixo do qual é repelente à água e acima do qual a repelência é quebrada. Após saturar com água e secar a diferentes temperaturas, a repelência desaparecia em todos os tratamentos, indicando que a secagem nem sempre foi suficiente para atingir o conteúdo crítico. Fortes aumentos da repelência à água a 105 °C foram observados por Doerr (2005), evidenciando que a simples ausência ou presença de compostos orgânicos não é suficiente para influenciar o fenômeno e que outros fatores, como o efeito da hidratação e o arranjo intramolecular do material devem ser considerados. Täumer et al. (2005) encontraram este mesmo resultado em amostras coletadas em áreas de pastagens na Alemanha: quanto menor o teor de MO, maior o tempo de penetração de gotas de água, o que poderia estar associado à capacidade da MO em reter água em sua estrutura. A natureza da MO de solos também é muito variável quanto a sua hidrofobicidade, sendo que quanto mais estruturas aromáticas existirem em suas frações, maior esta característica, e quanto maior sua acidez carboxílica ou fenólica, mais hidrofílico o material se torna.

À concentração do extrato hidrofóbico CEH2, esperavam-se tempos de repelência superiores à CEH1, o que não ocorreu (Figura 1B). Tal resultado sugere que o período de secagem das amostras (24 h) foi insuficiente para a remoção completa da água em alguns tratamentos, o que foi comprovado pela determinação da umidade nestas amostras. Assim, enquanto as médias de umidade das amostras CEH 1 a 70 °C e 105 °C foram zero, as amostras CEH 2 apresentaram médias de umidade de 1,6% e 1,4%. Este erro experimental afetou a hidrofobicidade, possivelmente pela formação de um filme hidrofóbico superficial impedindo a completa evaporação da água da amostra (Doerr & Thomas, 2003).

Outra fonte de erro pode ter sido o tempo de estabilização desde a incorporação do extrato hidrofóbico até as leituras da repelência, especialmente na temperatura ambiente: para a CEH1, este tempo foi de uma semana e para CEH2, de três dias. Nas demais temperaturas, este tempo foi de 24 h, o que parece ter afetado a interação entre as partículas minerais e orgânicas e a perfeita orientação das moléculas anfifílicas (Figura 2).

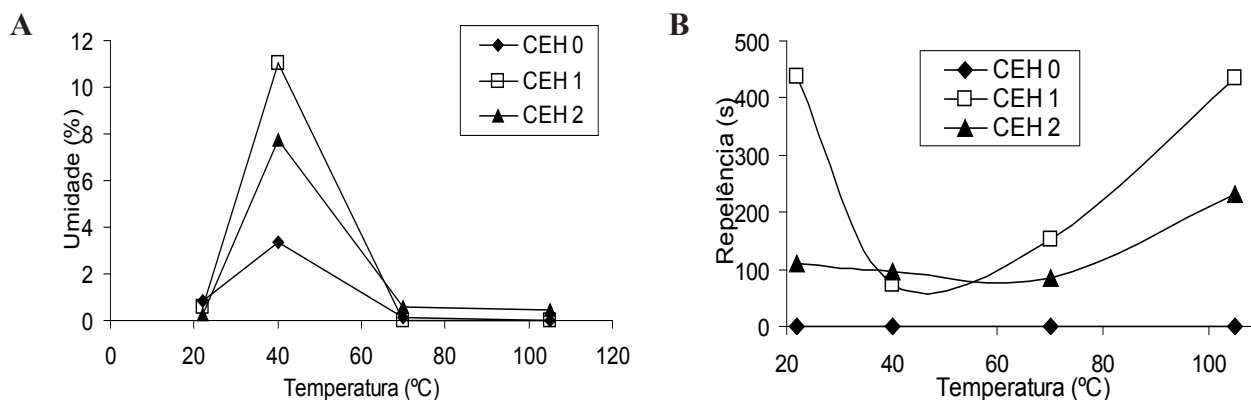


Figura 1. A) variação da umidade para as diferentes CEH utilizadas nos tratamentos em função da temperatura de secagem e B) repelência à água para as diferentes CEH utilizadas nos tratamentos segundo a temperatura de secagem.

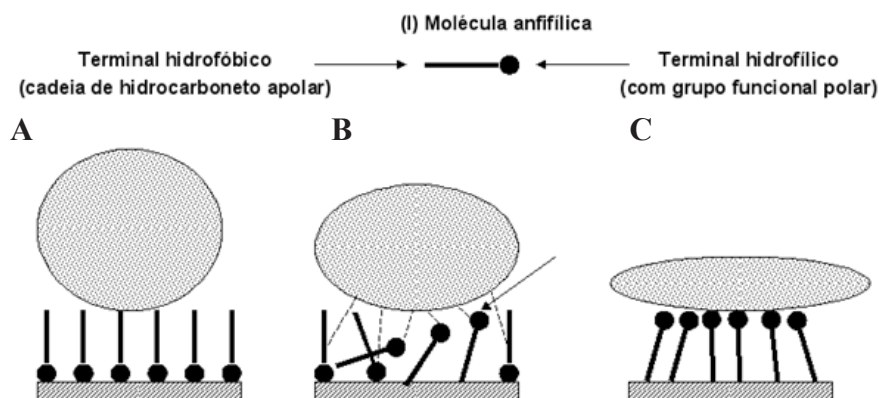


Figura 2. Representação esquemática de uma molécula anfifílica (I) e das mudanças na orientação de tais moléculas (II) sobre a superfície mineral do solo quando em contato com uma gota de água. Fonte: adaptado de Doerr et al. (2000).

Conclusões

Os compostos hidrofóbicos extraídos do Neossolo sob plantio de *Pinus taeda* induziram à repelência à água em solos reconstituídos em laboratório, em diferentes graus de intensidade. O método de extração das substâncias hidrofóbicas utilizado não restaurou o nível de repelência encontrado originalmente no solo, indicando perda de parte das condições necessárias para o estabelecimento da repelência e/ou que estes extratos continham somente alguns dos compostos responsáveis pela repelência à água. A maior concentração de extrato não proporcionou maiores tempos de infiltração de água, o que pode ter sido causado pela presença de maior umidade residual no solo, especialmente nos tratamentos com maiores teores de matéria orgânica. Tal fato poderia ter sido evitado se os períodos de secagem a diversas temperaturas tivessem sido maiores. De forma geral, os tratamentos que receberam extrato hidrofóbico foram classificados como fortemente hidrofóbicos e os maiores tempos de repelência foram encontrados nos tratamentos que continham ácido húmico na sua composição.

Agradecimentos

À Iguazu Celulose e Papel, pela concessão das amostras de solo; à Embrapa Florestas, pela colaboração técnica e administrativa na realização deste trabalho e à UFPR, por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, pelo apoio acadêmico. Yorleni C. Cambroner agradece à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Referências

- ATANASSOVA, I.; DOERR, S. Organic compounds of different extractability in total solvent extracts from soils of contrasting water repellency. **European Journal of Soil Science**, v. 61, p. 298-313, 2010.
- BUCZKO, U.; BENS, O.; HÜTTL, R. F. Variability of soil water repellency in sandy forest soils with different stand structure under Scots pine (*Pinus sylvestris*) and beech (*Fagus sylvatica*). **Geoderma**, v. 126, p. 317-336, 2005.
- BISDOM, E. B. A.; DEKKER, L. W.; SCHOUTE, J. F. T. Water repellency of sieve fractions from Sandy soils and relationships with organic material and soil structure. **Geoderma**, v. 56, p. 105-118, 1993.
- CHAN, K. Y. Development of seasonal water repellence under direct drilling. **Soil Science of America Journal**, v. 56, p. 326-329, 1992.
- DeBANO, L. F. The role of fire and soil heating on water repellency. In: RITSEMA, C. J.; DEKKER, L. W. (Ed.). **Soil water repellency: occurrence, consequences, and amelioration**. Amsterdam: Elsevier Science, 2003. p. 193-202.
- DEKKER, L. W.; RITSEMA, C. J. How water moves in a water repellent sandy soil. I. Potential and actual water repellency. **Water Resource Research**, v. 30, p. 2507-2517, 1994.
- DEKKER, L. W.; RITSEMA, C. J. Wetting patterns in water repellent Dutch Soils. In: RITSEMA, C. J.; DEKKER, L. W. (Ed.). **Soil water repellency: occurrence, consequences, and amelioration**. Amsterdam: Elsevier Science, 2003. p. 151-166.
- DOERR, S. H. On Standardizing the 'water drop penetration time' and the 'molarity of an ethanol droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 23, p. 663-668, 1998.
- DOERR, S. H.; SHAKESBY, R. A.; WALSH, R. P. D. Soil water repellency: it causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. **Earth Science Reviews**, v. 51, p. 33-65, 2000.
- DOERR, S. H.; LLEWELLYN, C. T.; DOUGLAS, P.; MORLEY, C. P.; MAINWARING, K. A.; HASKINS, C.; JOHNSEY, L.; RITSEMA, C. J.; STAGNITTI, F.; ALLINSON, G.; FERREIRA, A. J. D.; KEIZER, J. J.; ZIOGAS, A. K.; DIAMANTIS, J. Extraction of compounds associated with water repellency in sandy soils of different origin. **Australian Journal of Soil Research**, v. 43, p. 225-237, 2005.
- DOERR, S. H.; THOMAS, A. D. Soil Moisture: controlling factor in water repellency? In: RITSEMA, C. J.; DEKKER, L. W. (Ed.). **Soil water repellency: occurrence, consequences, and amelioration**. Amsterdam: Elsevier Science, 2003. p. 137-149.
- FRANCO, C. M. M.; CLARKE, P. J.; TATE, M. E.; OADES, J. M. Hydrophobic properties and chemical characterisation of natural water repellent materials in Australian sands. **Journal of Hydrology**, v. 231-232, p. 47-58, 2000.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, G.; CERVELLI, S. Water-repellent substances and aggregate stability in hydrophobic soil. **Soil Science**, v. 135, p. 110-113, 1983.
- HANSEL, F. A.; MAIA, C. M. B. F.; CUNHA JÚNIOR, A.; DEDECEK, R. A. Comparison of two alkaline treatments in the extraction of organic compounds associated with water repellency in soil under *Pinus taeda*. **Geoderma**, v. 148, p. 167-172, 2008.
- HORNE, D. J.; McINTOSH, J. C. Hydrophobic compounds in sands from New Zealand. In: RITSEMA, C. J.; DEKKER, L. W. (Ed.). **Soil water repellency: occurrence, consequences, and amelioration**. Amsterdam: Elsevier Science, 2003. p. 26-35.
- JEX, G. W.; BLEAKLEY, B. H.; HUBBELL, D. H.; MUNRO, L. L. High humidity-induced increase in water repellency in some sandy soils. **Soil Science of America Journal**, v. 49, p. 1177-1182, 1985.
- JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; STEENHUIS, T. S.; OLIVEIRA, L. V.; FERNANDES, E. C. M. Spatial and temporal variability of soil water repellency of Amazonian pastures. **Australian Journal of Soil Research**, v. 43, p. 319-326, 2005.

- KING, P. M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence for sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. **Australian Journal of Soil Research**, v. 19, p. 275-285, 1981.
- MAIA, C. M. B. F.; DEDECEK, R.; MALUCELLI, C. **S. Identificação de repelência à água em solos sob plantios florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 147).
- MORLEY, C. P.; MAINWARING, K. A.; DOERR, H.; DOUGLAS, C. T.; LLEWELLYN, C.T.; DEKKER, L.W. Organic compounds at different depths in a sandy soil and their role in water repellency. **Australian Journal of Soil Research**, v. 43, p. 239-249, 2005.
- NAKAYA, N.; MOTOMURA, S.; YOKOI, H. Some aspects on water repellency of soils. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 409-415, 1977.
- PENG, X.; ZHANG, B.; ZHAO, Q.; HORN, R.; HALLET, P. D. Influence of types of restorative vegetation on the wetting properties of aggregates in a severely degraded clayey Ultisol in subtropical China. **Geoderma**, v. 115, p. 313-324, 2003.
- PÉREZ, D.V.; SIMÃO, S.M.; SALATINO, A. Identificação e caracterização da repelência à água em alguns solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 197-207, 1998.
- ROBERTS, F. J.; CARBON, B. A. Water repellence in sandy soils of Southwestern Australia. II. Some chemical characteristics of hydrophobic skins. **Australian Journal of Soil Research**, v. 10, p. 35-42, 1972.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- LETEY, J. Measurement of contact angle, water drop penetration time, and critical surface tension. In: SYMPOSIUM ON WATER-REPELLENT SOILS, 1968, Riverside. **Proceedings**. Riverside: University of California, 1969. p. 43-47. Edited by Leonard F. DeBano and John Letey.
- TÄUMER, K.; STOFFREGEM, H.; WESSOLEK, G. Determination of repellency distribution using soil organic matter and water content. **Geoderma**, v. 125, p. 107-115, 2005.
- TROMPOWSKI, P. M.; BENITES, V. M.; MADARI, B. E.; PIMENTA, A. S.; HATCHER, P. G. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. **Organic Geochemistry**, v. 36, p. 1480-1489, 2005.
- WALLIS, M. G.; HORNE, D. J. Soil water repellency. **Advanced Soil Science**, v. 20, p. 91-146, 1992.

Recebido em 05 de abril de 2010 e aprovado em 10 de março de 2011