

Capítulo 12

Processos de degradação e recuperação de ecossistemas florestais na Amazônia Central: alterações no armazenamento de água nos solos

Degradation and reclamation processes in forest ecosystems in the Central Amazon: changes in soil water storage

Sávio J. Filgueiras Ferreira⁽¹⁾, João B. Ferraz⁽²⁾, Masahiro Kobayashi⁽³⁾, Keizo Hirai⁽⁴⁾, Masamichi Takahashi⁽⁵⁾, Carlos E. M. da Silva⁽²⁾

RESUMO: Na Amazônia Central a maioria dos solos florestais pertencem a classe dos Latossolos. Esses solos são os preferidos para o desenvolvimento de projetos agropecuários e para a exploração florestal na terra firme. Apresentam limitações quanto à sua fertilidade e proporcionam baixos níveis de água disponível às plantas, embora tenham elevada capacidade de armazenar água. O objetivo deste capítulo é comparar o armazenamento de água nos solos em ecossistemas de floresta primária com aqueles solos de ecossistemas antropicamente alterados, como áreas de floresta secundária, áreas degradadas pela agricultura e áreas de plantios florestais realizados para recuperar essas áreas degradadas. Nos solos de mata primária (platô e encosta), considerados como referência para os solos alterados, observou-se que os valores para o armazenamento de água, praticamente variaram entre 40 e 50 cm de água, para um perfil de solo de 120 cm. O solo sob floresta secundária apresentou os valores mais elevados de armazenamento de água no solo. Esses resultados indicam que as atuais formas agrícolas de utilização dos solos na região elevaram a capacidade de retenção de água no solo, o que também foi observado nos plantios florestais estabelecidos nessas áreas degradadas, na fase inicial de crescimento. Nos solos degradados, apesar dos elevados índices de água armazenada pelo perfil, grande parte da água é retida em potenciais abaixo de - 1500 KPa, o que não permite que seja aproveitada pelas plantas.

¹/Pesquisador CPRH - INPA.

²/Pesquisador CPST - INPA.

³/Pesquisador FFPRI.

Palavras-chave: Solos degradados, Amazônia Central, Armazenamento de água no solo, física do solo.

SUMMARY: In the Central Amazon most forest soils are Oxisols. These are preferred for farming and cattle raising projects, and for dry land logging. Besides limitations found as to their fertility, these soils provide low levels of water, although they have a high storage capacity. The aim of this chapter is to compare the water storage both in pristine forest ecosystems and in man-altered ecosystems. For the latter, secondary forests, degraded areas and forest growth for recovery areas degraded by agriculture and light grazing were chosen. In the pristine forest soil (plateau and hillslope) considered as reference for altered soils, water storage values were observed to range from 40 to 50 cm of water for a 120 cm soil profile. The secondary forest soil showed the highest soil water storage values. These results indicate that the current agricultural practices in land use in the region, alters the soil water retention capacity, as was also observed in the initial growth of the forest plantation established in these degraded areas. In degraded soils, despite the high values of water stored in the profile, most of the water is retained in potentials below -1500 KPa, which does not allow its use by plants.

Key-words: Degraded soils, Central Amazon, soil water storage, soil physics.

INTRODUÇÃO

Na Amazônia Central a maioria dos solos sob florestas pertence a classe dos Latossolos. A maior parte do relevo é formada por platôs, onde dominam os Latossolos Amarelos. De acordo com Vieira & Santos (1987), geologicamente o solo da área de pesquisa do projeto Jacaranda faz parte da Sinéclise do Amazonas, em cujas margens uma seqüência sedimentar foi depositada, no Terciário, formando o que se denomina de Grupo Barreiras. Na área que abrange este estudo predomina o "Latossolo Amarelo, álico, textura muito argilosa" (Camargo & Rodrigues, 1979; Chauvel *et al.*, 1992). É composto de caulinita (80%), hidróxido de ferro e alumínio, e de 5 a 15 % de quartzo. Chauvel (1982) estratificando um perfil de solo da mesma área observou cinco horizontes minerais: A1 - 0-5 cm, A3 - 5-35 cm, B1 - 35-70 cm, B21 - 70-150 cm e B22 - 150-230 cm, cujos teores de argila variaram entre 80 e 89 %.

Ferreira *et al.* (2002) verificaram que a floresta primária sobre Latossolo Amarelo mostrou que a camada mais superficial (0-10 cm) tem uma porosidade mais elevada e tende a dispor de mais água às plantas, e atribuem a responsabilidade desse comportamento ao teor mais elevado de matéria orgânica, a densidade mais baixa e a menor quantidade de argila nas camadas superiores. Num perfil de 1 m de profundidade, somente cerca de 11 a 18% de água desses solos podem estar disponíveis às plantas. Por outro lado, a infiltração básica ou condutividade hidráulica saturada, é elevada, variando de 11 a 42 mm/h.

A remoção de floresta primária e a sua substituição por plantações em área de terra firme na Amazônia, têm despertado preocupações pela formação de áreas degradadas. Visando diminuir a compactação do solo e proporcionar maior disponibilidade de água às plantas, também tem crescido o interesse pela formação de plantios florestais, o que tem levantado questões relativas a adaptabilidade das árvores escolhidas para as características hídricas dos solos desses plantios. Entre essas características, a disponibilidade de água nos solos para o crescimento de plantas mostra-se como um fator extremamente importante. Isso é devido não apenas a importância da água no crescimento das plantas, mas também devido ao fato dos nutrientes necessários a esse processo precisarem estar em equilíbrio com a solução do solo para serem absorvidos. Outra preocupação diz respeito ao clima, devido a estudos que indicam a possibilidade de uma diminuição na transferência de água da floresta para a atmosfera, deixando assim de contribuir para a formação de chuvas. Caso a floresta amazônica

fosse totalmente substituída por pastagem, a redução do volume anual de chuva poderia chegar a 20% (Nobre & Gash, 1997). Ferreira (1999) observou que o solo de clareira, até a profundidade de 70 cm o solo, resultante da extração seletiva de madeira, manteve o estoque de água em pouco mais de 10% acima do solo sob floresta primária, indicando diminuição do fluxo de água do solo para a atmosfera.

Segundo Salati *et al.* (1979), cerca de 50% da água que é evaporada na região Amazônica retorna na forma de chuva. A retirada da floresta poderá diminuir a transferência de água para a atmosfera, o que acarretaria a diminuição das chuvas. Num balanço feito em florestas de terra firme próximas à área deste estudo, a perda de água por evaporação foi da ordem de 41,8% do total da precipitação determinada em lisímetros com Latossolo Amarelo, e em torno de 26,4% para lisímetros com areia quartzosa; a evapotranspiração da cobertura florestal foi estimada em 67,9%, cuja taxa média diária obtida foi de 4,05 mm dia⁻¹ (Leopoldo *et al.*, 1993). Trabalhos mais recentes estimaram uma taxa de evapotranspiração potencial média entre 4,0-4,5 mm dia⁻¹, com variações sazonais decorrentes da existência ou não de chuvas (Fisch *et al.*, 1998).

Em floresta sobre Latossolo Amarelo as raízes têm importante papel na dinâmica de água: nos primeiros 40 cm do solo, as chuvas frequentes e a atividade biológica permitem condições favoráveis à absorção da água e dos nutrientes pelo sistema radicular, porém a falta de chuvas por mais de uma semana esgota a reserva de água disponível às plantas (Chauvel *et al.*, 1992). Um estudo comparativo da capacidade de armazenamento da água nos solos sob floresta e sob pastagem, para um perfil de 2 m de profundidade, mostrou não haver diferenças, tanto no período seco quanto no chuvoso, na camada de 0-1 m (Hodnett *et al.*, 1995). No entanto, constataram diferenças na camada de 1-2 m durante o período seco: a perda de água do solo para a floresta foi de 43 mm, e para a pastagem, apenas 13 mm, indicando que, naquele período, a floresta retirou água de camadas mais profundas do solo.

O Projeto Jacaranda contempla estudos que visam comparar os processos hidrológicos do solo em áreas degradadas, com áreas de florestas primária, e assim, contribuir para uma avaliação das condições hídricas nos solos de reflorestamentos, de florestas primárias e secundárias na Amazônia Central.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento vem sendo realizado nas áreas da Cooperativa Agrícola Mista Efigênio de Sales (CAMES), rodovia AM 010, km 41, e na Estação de Manejo Florestal ZF-2 do INPA. Na CAMES, após a derrubada da floresta primária (1958), a área foi inicialmente utilizada para cultivo de hortaliças e plantio de espécies cítricas, sendo abandonada em 1992. Sucessivas limpezas mecanizadas da vegetação secundária levaram à compactação do solo superficial.

Para a condução desta pesquisa foram selecionadas as seguintes áreas:

- Plantios de mogno (*Swietenia macrophylla*) sobre áreas degradadas (CAMES);
- plantios de mogno e gliricídia (*Glyricidia sepium*) sobre áreas degradadas (CAMES).

Os plantios foram realizados em março de 2000, usando-se espaçamento de 2 x 2 m. O desenho experimental está descrito em Nakamura *et al.* (2000).

- Área degradada (CAMES) com capoeira.

- Área de floresta secundária (CAMES).

- Áreas de floresta primária, platô e baixio ao longo do transecto Leste-Oeste (ZF-2)

(Figura 1).

ZF-2 TRANSECTO LESTE-OESTE

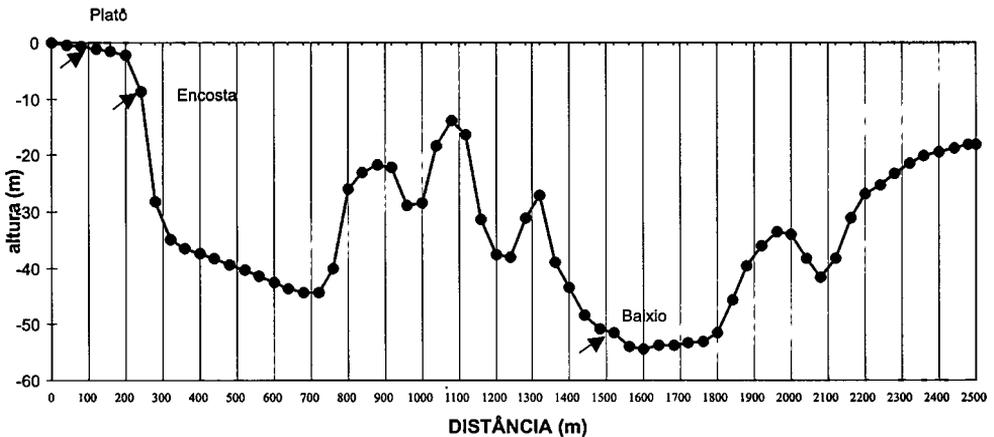


Figura 1 - Localização dos pontos de medidas no transecto Leste-Oeste na Estação de Manejo Florestal (ZF-2), nas posições topográficas: platô, encosta e baixio.

COLETA DE DADOS

Em cada uma das seis áreas acima descritas foram instalados sensores (sondas) de umidade "Moisture Point", para determinações da umidade volumétrica nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 e 90-120 cm. As leituras foram feitas semanalmente, com um equipamento "TDR". As sondas de TDR (Time Domain Reflectometry) vêm sendo largamente utilizadas em medidas de umidade do solo, devido a facilidade de operação e instalação no solo. A técnica baseia-se na medida do tempo de viagem de um sinal eletromagnético através de um meio. O TDR mede a constante dielétrica do solo (ϵ), na faixa de frequência de 10 MHz a 1 GHz. Esta variável no solo é principalmente dependente da sua umidade (θ), o que permite que sejam correlacionadas. Os dados obtidos com o TDR foram ajustados utilizando-se equações matemáticas obtidas pela calibração do TDR com sonda de nêutrons. As Figuras 2, 3 e 4 mostram as regressões obtidas para os solos da CAMES.

As equações da calibração do TDR com a sonda de nêutrons indicaram que os dados de umidade volumétrica dos solos determinados com o TDR são valores subestimados, principalmente nas áreas degradadas, que proporcionam os menores coeficientes angulares. A grande implicação disto diz respeito à avaliação da água disponível às plantas, pois quando o solo está perdendo água (secando), as diferenças tendem a ser maiores do que está ocorrendo na realidade..

Os estoques de água no solo foram calculados a partir da equação:

$$A_L = A_{120} = \sum_{i=1}^n A_i$$

Onde: $A_1 = \theta_1 \Delta z_1$, $A_2 = \theta_2 \Delta z_2$, $A_3 = \theta_3 \Delta z_3$, $A_4 = \theta_4 \Delta z_4$, $A_5 = \theta_5 \Delta z_5$, sendo $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ as umidades volumétricas e $\Delta z_1 = 15$ cm, $\Delta z_2 = 15$ cm, $\Delta z_3 = 30$ cm, $\Delta z_4 = 30$ cm e $\Delta z_5 = 30$ cm, as espessuras dos incrementos de profundidade.

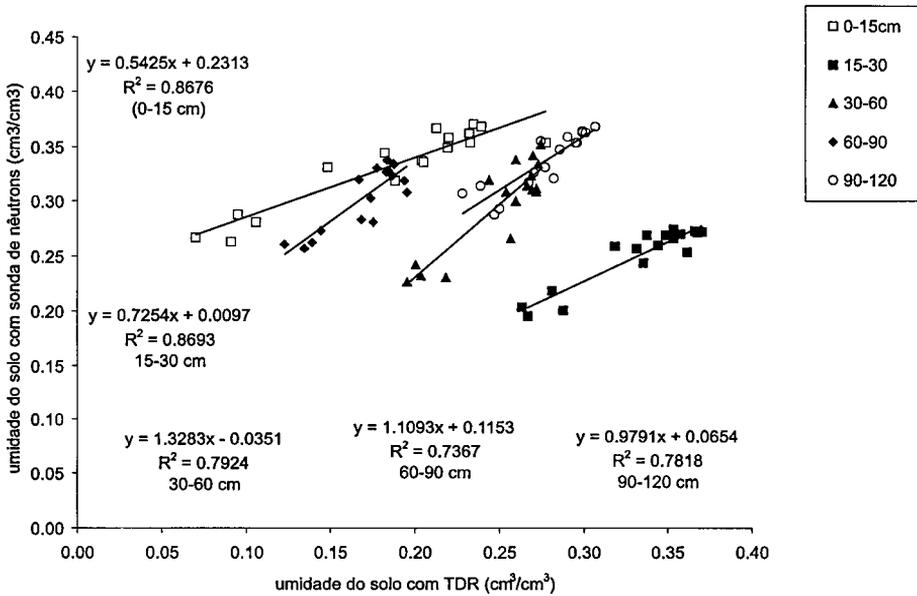


Figura 2 - Curva de calibração dos valores da umidade do solo determinados por TDR e pela sonda de nêutrons, nas camadas de solo de 0-15; 15-30, 30-60, 60-90 e 90-120 cm de profundidade. Floresta primária – CAMES.

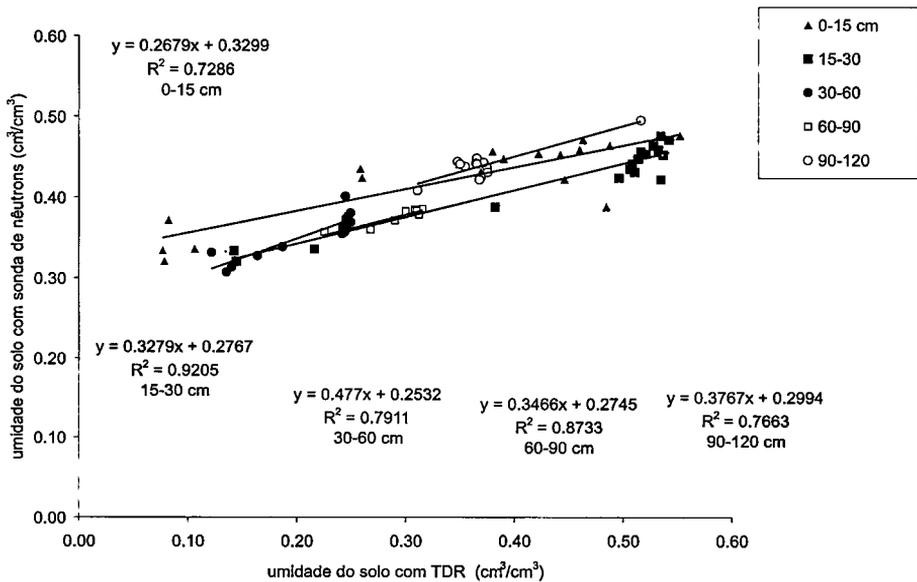


Figura 3 - Curva de calibração dos valores da umidade do solo determinados por TDR e pela sonda de nêutrons, nas camadas de solo de 0-15; 15-30, 30-60, 60-90 e 90-120 cm de profundidade. Reflorestamento com mogno, sobre área degradada – CAMES.

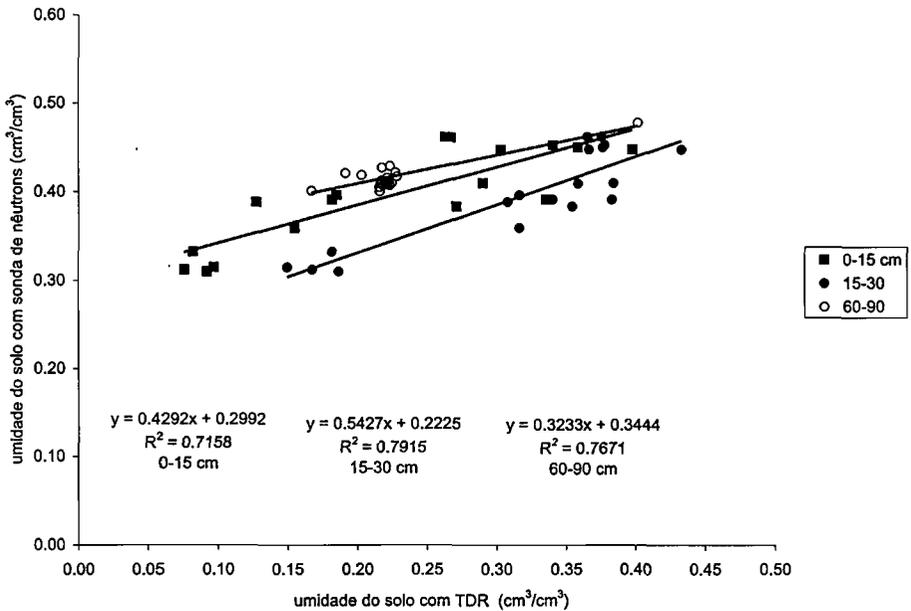


Figura 4 - Curva de calibração dos valores da umidade do solo determinados por TDR e pela sonda de nêutrons, nas camadas de solo de 0-15; 15-30, 30-60, 60-90 e 90-120 cm de profundidade. Área degradada – CAMES.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Praticamente não ocorreram diferenças entre o armazenamento de água no solo fornecido pelo platô e a encosta na ZF-2, mas no baixio os valores foram menores (Figura 5). No platô o maior valor de armazenamento de água no solo foi registrado até a profundidade de 120 cm (55,30 cm), correspondendo este ao valor mais elevado no transecto, estando porém, abaixo da saturação desse solo. Para o platô o valor mais baixo foi 44,45 cm. O armazenamento medido por Ferreira (1999) na área de manejo florestal na ZF-2, para um perfil de 70 cm foi de 29,6 cm (valor mais baixo) e no centro de uma clareira o valor mais elevado foi de 33,3 cm. Verifica-se que o valor mais elevado praticamente corresponde à condição de saturação de água no solo, pouco acima de 50%. No baixio o comportamento do armazenamento mostrou-se mais variado que no platô e na encosta. O solo daquele ambiente é um Podzol, cujo teor de areia chega a mais de 85% (Figura 7), que é caracterizado por baixa capacidade de armazenamento de água, e sendo responsável pela variação nos valores a proximidade do lençol freático, possibilitando a saturação de parte do perfil.

Na área da CAMES, onde ocorrem os solos degradados, percebe-se que a floresta secundária forneceu os valores mais elevados de armazenamento de água no solo (Figura 6), o que contraria a nossa expectativa, pois a tendência desse tipo de situação do solo sob floresta secundária é de voltar as condições de hidrologia do solo de floresta primária, como foi notado por Ferreira (1999), em experimento na ZF-2, próximo ao transecto Leste-Oeste, em área com corte seletivo de árvores. Na floresta secundária foram determinados os valores mais elevados de densidade global do solo (Tabela 2) em relação às outras áreas na CAMES, indicando o solo mais compactado, causando uma retenção de água pelos micro poros mais elevada. No

ZF-2

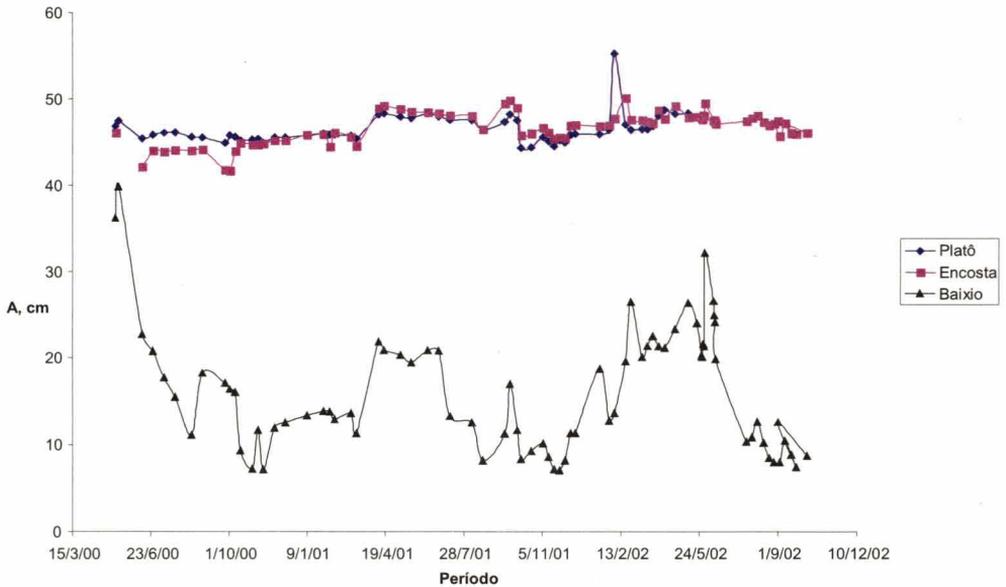


Figura 5 - Variação do armazenamento de água no solo (A, cm) no transecto Leste-Oeste (ZF-2): platô, encosta e baixo.

entanto, era esperado valores mais baixos de armazenamento de água no solo na floresta secundária, devido às taxas de transferência de água, pelo processo de evapotranspiração, que devem ser mais elevados do que nos plantios. O armazenamento de água no solo para os Plantios de mogno, mogno e gliricídia e a área degradada foi similar, indicando que não houve modificação, em relação a essa variável, da área degradada para os plantios.

Comparando os valores médios de armazenamento de água no solo (Tabela 1), praticamente não há diferença entre as médias do platô (46,62 cm), encosta (46,72 cm), plantio de mogno (46,64 cm), plantio de mogno e gliricídia (46,74 cm). Na área degradada o valor médio foi ligeiramente mais elevado (48,25 cm) do que nesses locais. No platô e na encosta os solos não sofreram compactação e tendem a dispor de mais água às plantas pelos macro poros, enquanto que nos plantios, os solos mantiveram estoques de água semelhantes. Devido à compactação, a disponibilidade de água é reduzida e a matriz do solo tende a reter mais água em potenciais abaixo do ponto de murcha permanente (-1500 Kpa). A floresta secundária forneceu a média mais elevada de armazenamento de água (55,76 cm) e o resultado mais elevado de densidade global (1,35 g cm⁻³), o que reforça a indicação de que o solo compactado retém elevado estoque de água, mas com baixa disponibilidade para as plantas.

A Figura 7 apresenta a distribuição granulométrica de alguns solos investigados. No platô e na floresta secundária os teores de argila foram os mais expressivos, acima de 80%. No perfil observa-se ainda a tendência da quantidade de argila aumentar da superfície para baixo. Observa-se também um aumento na quantidade de areia do perfil do platô em direção ao baixo. Por outro lado, os teores de argila na encosta diminuem mais da metade, chegando no baixo a menos de 5%. Este comportamento é esperado uma vez que as partículas maiores se

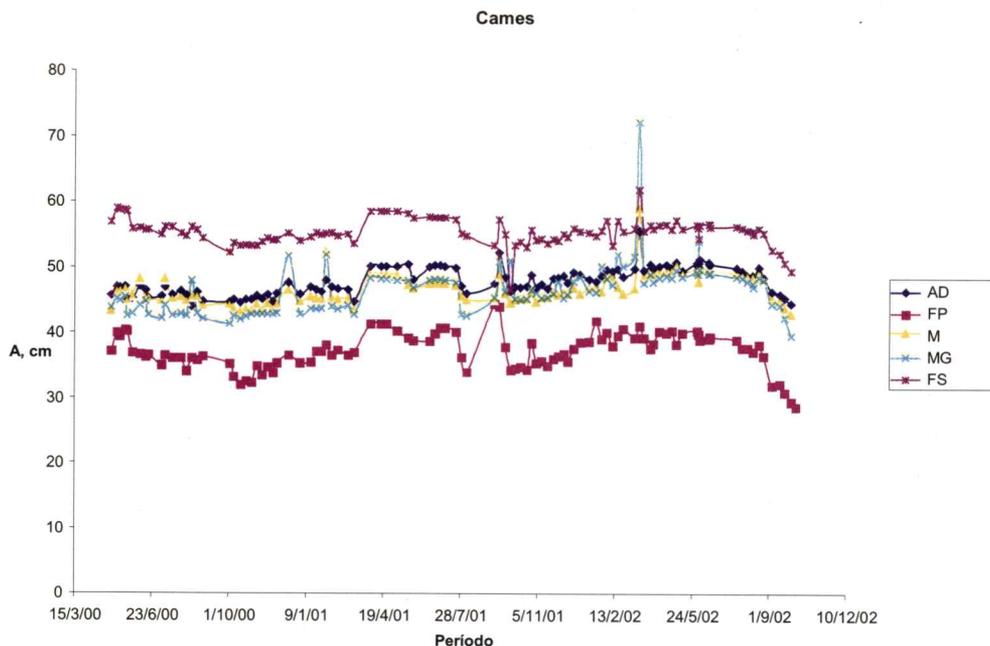


Figura 6 - Variação do armazenamento de água no solo (A_L , cm) na CAMES: área degradada (AD), floresta primária (FP), plantio de mogno (M), plantio de mogno e glicirídiã (MG) e floresta secundária (FS).

Tabela 1 - Médias do armazenamento de água no solo (A_L) e os seus respectivos desvios padrões (s), para um perfil de solo de 120 cm

Locais	A_L cm	s
Área degradada	48,25	2,14
Floresta primária	37,63	2,91
Plantio de mogno	46,64	2,35
Plantio de mogno e glicirídiã	46,74	3,89
Floresta secundária	55,76	2,04
Platô	46,62	1,66
Encosta	46,72	1,81
Baixio	15,99	6,98

depositam mais próximas dos cursos d'água, como no leito maior.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos até o momento, indicam que o solo em área degradada sob floresta secundária apresenta elevada densidade global e capacidade de armazenamento de água, sem que isto reflita em maior disponibilidade de água para as plantas. Os teores de argila são maiores nas posições mais elevadas do relevo, como no platô, na floresta secundária e nos

Distribuição das partículas

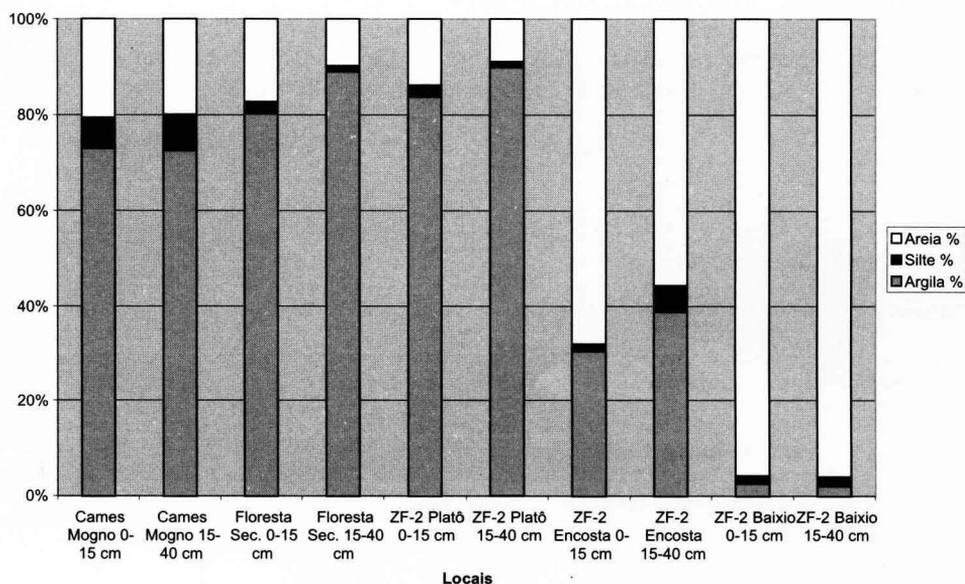


Figura 7 - Granulometria (%) dos pontos de medidas na CAMES: área degradada, floresta primária, plantio de mogno, plantio de mogno e gliricídia e floresta secundária e para o transecto Leste-Oeste na ZF-2: platô, encosta e baixo.

Tabela 2 - Densidade global no transecto Leste-Oeste na ZF-2: platô, encosta e baixo e na CAMES: floresta primária, floresta secundária, plantio de mogno, plantio de mogno e gliricídia e área degradada.

Profundidade Cm	ZF-2			CAMES				
	Platô	Encosta	Baixo	Floresta primária	Floresta Secundária	Plantio de mogno	Plantio de mogno e gliricídia	Área degradada
	$g\ cm^{-3}$							
0-15	1,04	1,09	1,17	1,03	1,35	1,09	1,12	1,14
15-45	1,08	1,42	1,47	1,27	1,32	1,31	1,15	1,01

plantios. A calibração do TDR com a sonda de nêutrons indica que os dados de umidade volumétrica dos solos determinados com o TDR são valores subestimados, principalmente nas áreas degradadas, que proporcionam os menores coeficientes angulares, mas os resultados dessa calibração foram satisfatórios para a obtenção da umidade do solo e, conseqüentemente, para a determinação do armazenamento de água no solo.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos agradecimentos aos colegas George Hamilton Pereira da Silva, Pedrinho de Almeida Paiva, Manoel Jesus da Silva, Anthony Lopes e Afonso Ligório da Mota pelas valiosas colaborações na instalação de equipamentos e coleta de dados no campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camargo, M.N.; Rodrigues, P.E. 1979. Guia de excursão. XVII Congresso Brasileiro de Ciência do solo, Manaus. EMBRAPA, 72p.
- Chauvel, A. 1982. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazonica*, 12(3): 47-60.
- Chauvel, A.; Vital, A.R.T.; Lucas, Y.; Desjardins, T.; Franken, W.; Luizão, F.J.; Araguás, L.; Rozanski, K.; Bedmar, A.P. 1992. O papel das raízes no ciclo hidrológico da floresta Amazônica. In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. São Paulo. p. 29-37.
- Ferreira, S.J.F.; Luizão, F.J.; Mello-Ivo, W.; Ross, S.M.; Biot, Y. 2002. Propriedades físicas do solo após extração seletiva de madeira na amazônia central. *Acta Amazonica*, 32(3): 449-466.
- Ferreira, S.J.F. 1999. Ciclo hidrológico e de nutrientes em uma área de manejo florestal em floresta de terra firme na Amazônia Central. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 190p.
- Fisch, G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, 28(2): 101-126.
- Hodnett, M.G.; Silva, L.P.; Rocha, H. R.; Senna, R.C. 1995. Seasonal soil water storage changes beneath Central Amazonian rainforest and pasture. *Journal of Hydrology*, 170: 233-254.
- Leopoldo, P.R.; Chaves, J.G.; Franken, W.K. 1993. Solar energy budgets in Central Amazonian ecosystems: a comparison between natural forest and bare soil areas. *Forest Ecology and Management*, 59: 313-328.
- Nakamura, S.; Barbosa, A.P.; Ferraz, J. 2000. Crescimento inicial de *Swietenia macrophylla* (mogno), *Aniba rosaeodora* (pau-rosa) e *Cedrela odorata* (cedro) plantadas sobre área degradada, em Manaus, Brasil. In: *Anais do Workshop Intermediário do Projeto Jacaranda – Fase II*. INPA-MCT. Manaus-Amazonas. p. 43.
- Nobre, C.A.; Gash, J. 1997. Desmatamento muda clima da Amazônia. *Ciência Hoje*, 22 (128): 32-41.
- Salati, E.; Dall'olio, A.; Matsui, E.; Gat, J. R. 1979. Recycling of water in the Amazon Basin: an isotopic study. *Water Resources Research*, 15(5): 1250-1258.
- Vieira, L.S.; Santos, P.C.T.C. 1987. Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres. 416p.