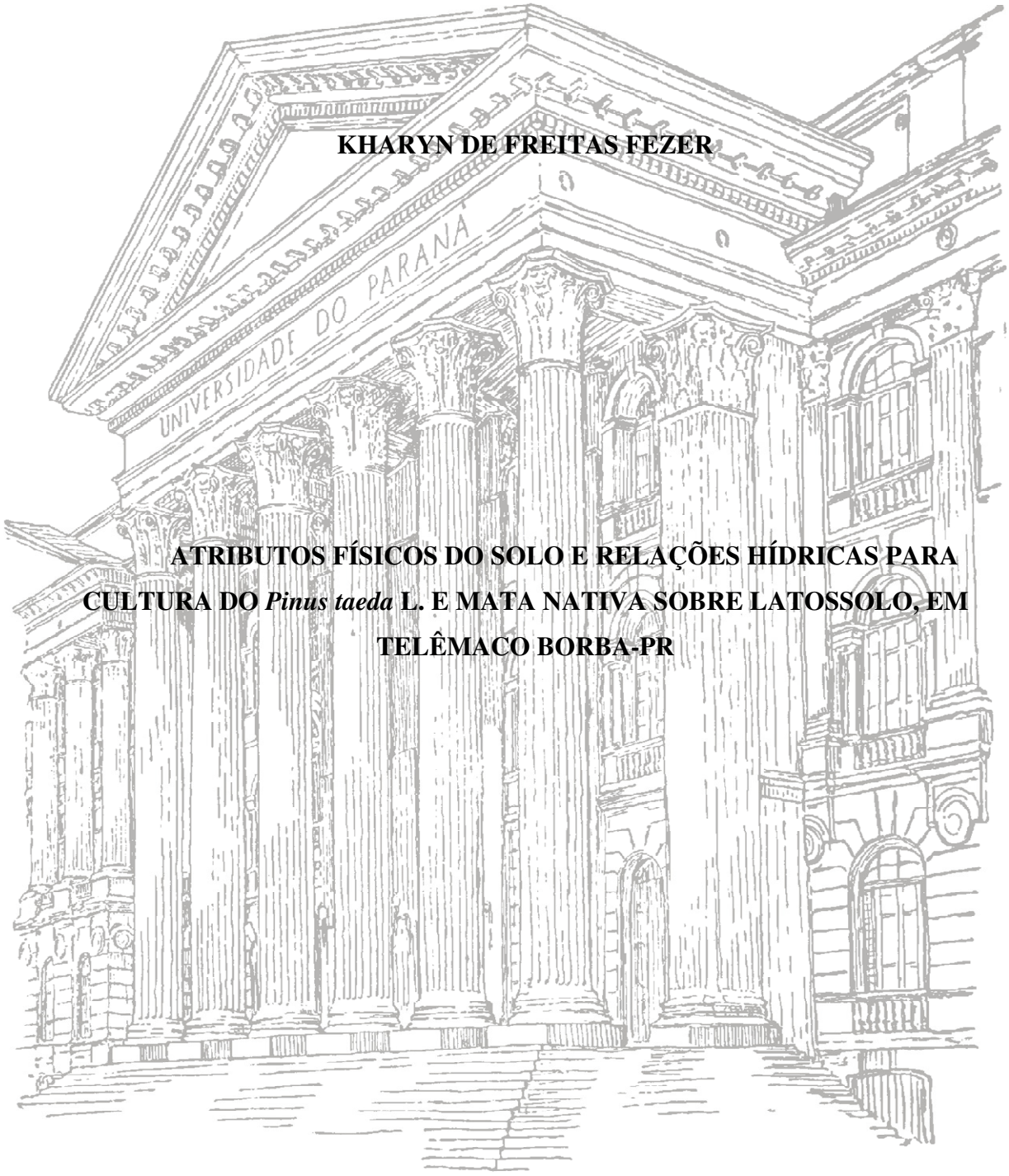
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



KHARYN DE FREITAS FEZER

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E RELAÇÕES HÍDRICAS PARA CULTURA DO *Pinus taeda* L. E MATA NATIVA SOBRE LATOSSOLO, EM TELÊMACO BORBA-PR

CURITIBA

2013

KHARYN DE FREITAS FEZER

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E RELAÇÕES HÍDRICAS PARA CULTURA DO *Pinus taeda* L. E MATA NATIVA SOBRE LATOSSOLO, EM TELÊMACO BORBA-PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Solo e Ambiente, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Robson André Armindo

CURITIBA

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado

P A R E C E R

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **KHARYN DE FREITAS FEZER,** intitulada **"Atributos físicos do solo e relações hídricas para a cultura do *Pinus taeda* L. e mata nativa sobre Latossolo, em Telêmaco Borba-PR",** do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição da candidata, emitem parecer pela **"APROVAÇÃO"** da referida Dissertação. A candidata atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente.**

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 24 de maio de 2013.

Prof.Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, Presidente, Orientador

Prof. Dr. Paulo Eugenio Pachechenik I°. Examinado

Profa. Dra. Karina Maria Vieira Cavalieri, IIª. Examinadora

Prof. Dr. Robson André Armindo,III°. Examinador,

"Quando uma criatura humana
desperta para um grande sonho e
sobre ele lança toda a força de sua
alma, todo o universo conspira a
seu favor."
Johann Wolfgang Von Goethe

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pela força para vencer mais uma etapa, pelas pessoas maravilhosas que fazem parte da minha vida.

Ao meu orientador, Professor Jorge Luiz Moretti de Souza, pela amizade, paciência, orientação, confiança, ensinamentos, dedicação e colaboração em todo período da pesquisa.

Ao meu co-orientador, Professor Robson André Armindo, pela amizade, incentivo durante todo o andamento da pesquisa.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade para a realização do curso, e a todos os professores, pelos ensinamentos que contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal.

À empresa KIabin Florestal pelo interesse em realizar o presente trabalho.

Ao Paulo Pachechenek por ceder os dados da pesquisa, pela amizade e por estar sempre à disposição para sanar as duvidas ao longo da pesquisa.

À todos os meus colegas e amigos das turmas 2010, 2011 e 2012 que dividiram comigo momentos alegres, mas também preocupações, dúvidas e conhecimentos.

Ao meu pai Edgar Nelson Fezer, por todos os ensinamentos e valores que me passou em vida.

À minha mãe Zelina de Freitas Fezer, pelo amor, educação, carinho, dedicação, força e por ser exemplo a seguir em minha vida.

Ao meu irmão, Luís Felipe, pelo apoio, carinho, incentivo e ajuda em todos os momentos.

À minha sogra Elizabet e ao meu sogro Auro, por todo incentivo, amizade, carinho e apoio ao longo desta caminhada.

Ao meu esposo Marllos Thiago, pelo amor dedicado diariamente, por todo apoio, paciência, confiança, dedicação, compreensão e por acreditar em mim sempre.

À minha filha Gabriela, por ser a grande inspiração do meu viver.

E por fim quero agradecer especialmente a Marília, Jéssica, Verediana e Daniela que estiveram ao meu lado durante o período do mestrado. Minha comadre Mah, por ter me inserido no mundo da pesquisa (não foi como você me contou, mas adorei), pela amizade incondicional, pelos conselhos, pela ajuda nos momentos de crise e por tudo o que já vivemos juntas nessa vida. Às minhas amigas Jéssica, Verediana agradeço muito a vocês pelo convívio, pela amizade, pelo carinho, pelos conselhos, dedicação e momentos de descontração. À Daniela pela amizade e por toda ajuda e apoio ao longo das disciplinas do mestrado.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram nessa caminhada.

A todos meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL vii

GENERAL ABSTRACT viii

INTRODUÇÃO GERAL 1

CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM LATOSSOLO SOB *Pinus taeda* L. NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA, ESTADO DO PARANÁ 4

RESUMO 4

ABSTRACT 5

1.1 INTRODUÇÃO 6

1.2 MATERIAL E MÉTODOS 7

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 12

1.4 CONCLUSÕES 18

1.5 LITERATURA CITADA 19

CAPÍTULO 2 – BALANÇO HÍDRICO DO SOLO CULTIVADO COM *Pinus taeda* L., CONTENDO DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO, EM TELÊMACO BORBA, ESTADO DO PARANÁ 22

RESUMO 22

ABSTRACT 23

2.1 INTRODUÇÃO 24

2.2 MATERIAL E MÉTODOS 25

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 29

2.4 CONCLUSÕES 37

2.5 LITERATURA CITADA 37

CAPÍTULO 3 – ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E BALANÇO HÍDRICO PARA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, SOB LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, EM TELÊMACO BORBA, ESTADO DO PARANÁ 40

RESUMO 40

ABSTRACT 41

3.1 INTRODUÇÃO 42

3.2 MATERIAL E MÉTODOS 43

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 48

3.4 CONCLUSÕES 58

3.5 LITERATURA CITADA 58

CONCLUSÃO GERAL 61

APÊNDICE 1 62

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E RELAÇÕES HÍDRICAS PARA CULTURA DO *Pinus taeda* L. E MATA NATIVA SOBRE LATOSSOLO, EM TELÊMACO BORBA-PR

Autor: Eng. Agr. Kharyn de Freitas Fezer

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Robson André Armindo

RESUMO GERAL

Teve-se por objetivo no presente trabalho caracterizar os atributos físico-hídricos e quantificar as componentes de um balanço hídrico de um Latossolo sob a cultura do *Pinus taeda* L. e Floresta Nativa, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná. Os dados de campo foram provenientes de um experimento realizado na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal. No experimento foram escolhidas duas áreas, sendo uma cultivada com *Pinus taeda* e outra contendo floresta nativa em fase avançada de regeneração. A classe de solo do experimento contendo plantio de pinus foi o Latossolo Vermelho A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado. A classe de solo contendo área de floresta nativa foi o Latossolo Vermelho-Amarelo, relevo suave ondulado. O presente trabalho encontra-se subdividido em três capítulos que tiveram como objetivos específicos: (a) caracterizar os atributos físico-hídricos de um Latossolo sob *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borda, Estado do Paraná; (b) quantificar e comparar as componentes do balanço hídrico do solo, ao longo das estações do ano, para diferentes densidades de plantio de *Pinus taeda*; (c) caracterizar os atributos físico-hídricos e quantificar as componentes hídricas de um balanço hídrico, realizado em uma Floresta Ombrófila Mista sobre Latossolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa, em Telêmaco Borba. Foram caracterizados os seguintes atributos físico-hídricos do solo: massa específica, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção da água, porosidade de aeração e capacidade de água disponível (*CAD*). As amostras indeformadas foram coletadas em trincheiras, em cinco profundidades. Os valores de umidades do solo e precipitação interna foram coletados e registrados semanalmente ao longo do ano. O armazenamento de água no solo foi calculado empregando a regra do trapézio. A drenagem profunda e ascensão capilar foram estimadas com a equação de Darcy-Buckingham. Os principais resultados obtidos foram: Os valores de massa específica, micro, macro e porosidade total do solo obtidos no experimento, de modo geral, ficaram contidos nas faixas consideradas adequadas, tanto para o Latossolo com textura argilosa quanto para com textura arenosa; A evapotranspição real (*ER*) média dos tratamentos de *Pinus taeda* ficou em 1388 mm ano^{-1}; A drenagem profunda média, na área da floresta nativa foi maior nos meses com maior precipitação, sendo o valor total anual médio de 94,9 mm ano^{-1}; O valor médio da *ER* ocorrida na floresta nativa foi de 1355,9 mm ano^{-1}, média de 3,7 mm dia^{-1}.

Palavras-chave: Balanço hídrico, floresta exótica e nativa, componentes hídricas, evapotranspiração real.

THE SOIL'S PHYSICAL AND HYDRIC ATTRIBUTES FOR THE CULTIVATION OF *Pinus taeda* L. AND NATIVE FOREST ON OXISOL, IN TELEMACO BORBA, STATE OF PARANA

Author: Eng. Agr. Kharyn de Freitas Fezer

Advisor: Teach. Doc. Jorge Luiz Moretti de Souza

Co-advisor: Teach. Doc. Robson André Armindo

GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the physical and hydric attributes and quantify the components of an Oxisol's real and estimated water balance under the cultivation of *Pinus taeda* and native forest, in Telemaco Borba, State of Parana. The field data came from an experiment performed in the Monte Alegre Farm, which belongs to the company Klabin Florestal. Two areas were chosen in the experiment, one being cultivated with the *Pinus taeda* and the other containing a native forest in an advanced state of regeneration. The soil class in the experiment performed in the cultivation of *Pinus taeda* was clay texture, Red Oxisol, and soft wavy terrain. The soil class containing the native forest was Yellow, Red-Yellow Oxisol, and soft wavy terrain. This study was subdivided in three chapters which had as specific goals: (a) characterize the physical and hydric attributes of the Oxisol under the *Pinus taeda* L. in the region of Telemaco Borba in the State of Parana; (b) quantify and compare the components from the Oxisol's water balance throughout the year, for different *Pinus taeda* planting densities, in Telemaco Borba, Parana; (c) characterize the physical and hydric attributes and quantify the hydric components of a water balance, performed in a native ombrophylous forest, under Red-Yellow Oxisol, with a sandy texture, in Telemaco Borba, Parana. The following physical and hydric attributes of the soil were characterized: specific mass, saturated hydraulic conductivity, water retention curve, aeration porosity and available water capacity. The disturbed samples were collected in a trench, in five different depths. The values of soil moisture and internal precipitation were collected and registered weekly throughout the year. The water storage in the soil was calculated using the trapezoidal rule. The deep drainage and capillary ascent were estimated by using the Darcy-Buckingham equation. The main results obtained were: The values of the specific mass, micro, macro and total porosity of the soil obtained in the experiment are inside zones considered adequate; The mean real evapotranspiration (*ER*) of all the *Pinus taeda* treatments was 1388 mm year^{-1}; The mean deep drainage in the native forest was bigger throughout the months with more precipitation, the mean value of 94.9 mm year^{-1}; The average value of the *ER* occurred in native forest was 1355.9 mm year^{-1}, an average of 3,7 mm day^{-1}.

Key words: Water balance, exotic and native forest, hydric components, real evapotranspiration.

INTRODUÇÃO GERAL

O plantio do pinus no Brasil teve início há mais de um século, com a introdução de diversas espécies do gênero Pinus, com plantas trazidas da Europa (Shimizu, 2004). A introdução do pinus comercial no país, na década de 60, veio para suprir a necessidade da produção de madeira, especialmente em substituição à exploração de *Araucaria angustifolia*, já que as espécies do gênero atendem as características exigidas pela indústria madeireira (Kronka et al., 2005).

O Brasil possui a segunda maior área plantada no mundo, ficando apenas atrás da China, com aproximadamente 1,8 milhões de hectares plantados (SBS, 2008). Cerca de 75% do plantio de pinus no país está concentrado nas regiões Sul e Sudeste do país, devido ao clima favorável (Juvenal & Mattos, 2002). Apenas no Paraná, são mais de 700.000 ha de povoamento, sendo o Estado com a maior área plantada (SBS, 2008).

Dentre as espécies trazidas ao país, se destacaram o *P. taeda* e o *P. elliottii*, pelo rápido crescimento e facilidade nos tratos culturais (Shimizu, 2004). Estudos comprovaram a superioridade do *P. taeda* sobre o *P. elliottii*, em termos de crescimento e produtividade (Baldanzi, 1978). A espécie se destaca nas regiões do planalto Sul e Sudeste do Brasil, especialmente pelo rápido aumento volumétrico (Shimizu & Higa, 1981; Shimizu, 2004).

O plantio de florestas sempre foi apontado como uma prática capaz de promover o déficit hídrico no solo, o que é contestado por inúmeros autores que relatam a melhoria no armazenamento de água, redução de perda de umidade pela evaporação, diminuição do escoamento superficial, além da formação de agregados no solo, que previnem a erosão (Chow, 1964; Serengil et al., 2007; Van Dijk & Keenan, 2007).

Neste contexto, os atributos físico-hídricos do solo são importantes componentes na avaliação das condições da qualidade do solo, ou seja, de sua capacidade produtiva, uma vez que influencia a aeração, infiltração, capacidade de armazenamento e disponibilidade de água para as plantas (Reichert et al., 2003; Bognola et al., 2010).

O solo mantido em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresenta atributos físicos, como massa específica, porosidades, agregação e permeabilidade consideradas adequadas (Andreola et al., 2000). Entretanto, quando o solo é submetido ao plantio agrícola, os atributos físicos podem sofrer alterações (Neves et al., 2007), tornando-se fundamental a avaliação dos mesmos após a introdução de atividades antrópicas, por serem capazes de

promover a perda da qualidade estrutural e aumentar a suscetibilidade à erosão (Bertol et al.,2001).

O acompanhamento das condições de armazenamento de água no solo, associado ao entendimento das necessidades da cultura, podem ser uma alternativa para o estabelecimento de estratégias de manejo do uso eficiente das reservas de água do solo (Souza, 2001; Frizzone et al., 2005), visto que a disponibilidade de água é um fator determinante no conflito entre interesses sociais e econômicos. Por tanto, o estudo da demanda hídrica em solos sob plantio de florestas exóticas, como o pinus, pode auxiliar no desenvolvimento de alternativas que visem o uso racional de água, sem comprometer o equilíbrio ambiental e favorecer a expansão da atividade florestal de forma eficiente.

Teve-se por objetivo no presente trabalho caracterizar os atributos físico-hídricos e quantificar as componentes de um balanço hídrico de um Latossolo sob a cultura do *Pinus taeda* L. e Floresta Nativa, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

O presente trabalho foi desenvolvido e encontra-se organizado nos seguintes Capítulos:

Capítulo 1 – Atributos físico-hídricos de um Latossolo sob *Pinus taeda* L. na região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná;

Capítulo 2 – Balanço hídrico do solo cultivado com *Pinus taeda* L., contendo diferentes densidades de plantio em Telêmaco Borba, Estado do Paraná;

Capítulo 3 – Atributos físico-hídricos e balanço hídrico para mata nativa ombrófila, sobre Latossolo Vermelho-Amarelo, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

LITERATURA CITADA

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M. & OLSZEVSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24:857-865, 2000.

BALDANZI, G. Experimentação com *Pinus taeda* na estação de pesquisas florestais de Rio Negro, Paraná. Revista Floresta, 9:5-7, 1978.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Scientia Agricola, 58:555-560, 2001.

BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J. & HIGA A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. Pesquisa Florestal Brasileira, 30:37-49, 2010.

CHOW, V. T. Handbook of applied hidrology. A compendium of water-resources technology. New York: McGraw-Hill Book Company, 1964. 1496p.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, J. L. M. & ZOCOLER, J. L. Planejamento da irrigação: análise de decisão de investimento. Brasília: EMBRAPA, 2005. 627p.

JUVENAL, T. L. & MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. BNDES Setorial, 16:3-30, 2002.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F. & PONCE, R. H. A Cultura do Pinus no Brasil. São Paulo, 160 p. 2005.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. Scientia Forestalis, 74:45-53, 2007.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, Santa Maria, 26:26-48, 2003.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Fatos e Números do Brasil Florestal. 93 p. 2008.

SERENGIL, Y.; GOKBULAK, F.; OZHAN, S.; HYZAL, A.; SENGONUL, K.; BALC, A. & OZYUVACI, N. Hydrological impacts of a slight thinning treatment in a deciduous forest ecosystem in Turkey. Journal of Hidrology, 333:569-577, 2007.

SHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. Revista da Madeira, 83:22-28, 2004.

SHIMIZU, J. Y. & HIGA, A. R. Variação racial do *P. taeda* L. no Sul do Brasil até o sexto ano de idade. Boletim de Pesquisa Florestal, 2:1-25, 1981

SOUZA, J. L. M. Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2001. 253p. (Tese Doutorado)

VAN DIJK, A. I. J. M. & KEENAN. R. J. Planted forests and water in perspective. Forest Ecology an Management, 251:1-9, 2007.

CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM LATOSSOLO SOB *Pinus taeda* L. NA REGIÃO DE TELÊMACO BORBA, ESTADO DO PARANÁ

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho, caracterizar os atributos físico-hídricos de um Latossolo sob *Pinus taeda* L. na região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. O experimento foi instalado na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal. Foi escolhida uma área de povoamento de *Pinus taeda* com seis anos de idade, plantado em Latossolo Vermelho A moderado, textura argilosa. Foram caracterizados os seguintes atributos físico-hídricos do solo: massa específica, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção de água, porosidade de aeração e capacidade de água disponível (*CAD*). As amostras indeformadas foram coletadas em duas trincheiras, em cinco profundidades, em outubro de 2009. As amostras deformadas foram retiradas semanalmente, em 20 pontos, entre os dias 08 de janeiro e 30 de dezembro de 2009, em cinco profundidades. A determinação dos atributos físicos foi realizada no Laboratório de Física dos Solos da EMBRAPA Florestas e as análises dos dados foram feitas no Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas do DSEA/SCA/UFPR. Os valores de massa específica, micro, macro e porosidade total do solo obtidos no experimento estão contidos nas faixas consideradas adequadas para solos de textura argilosa. O solo apresentou alta condutividade hidráulica, característica de solos bem drenados. A cultura de pinus não sofreu limitações quanto à aeração, pois valores abaixo do limite crítico não foram atingidos ao longo do ano. O solo apresentou significativa quantidade de água retida entre a capacidade de campo e ponto de murchamento permanente, ou seja, alta *CAD*, característica de solos argilosos.

Palavras-chave: Solo florestal; curva de retenção de água no solo; condutividade hidráulica.

CHAPTER 1 – THE LATOSOL'S PHYSICAL AND HYDRIC ATTRIBUTES UNDER *Pinus taeda* L. IN THE REGION OF TELEMACO BORBA, STATE OF PARANA

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the physical and hydric attributes of the Oxisol under the *Pinus taeda* L. in the region of Telemaco Borba in the state of Parana. The experiment was performed in the Monte Alegre Farm, which belongs to the company Klabin Florestal. The chosen area was populated with six year old *Pinus taeda*, which was planted in moderate A-Red, clayey, Oxisol. The physical and hydric attributes of the Oxisol that were characterized were: specific mass, saturated hydraulic conductivity, water's retention curve, aeration porosity and available water capacity (*AWC*). In October 2009 the disturbed samples were collected, in two trenches and in five different depths. The disturbed samples, however, were withdrawn weekly, in 20 different points and in five different depths, between January 8th 2009 and December 30th 2009. The determination of the physical and hydric attributes was done at the Laboratório de Física dos Solos da EMBRAPA Florestas, and the data analysis was performed at the Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas do DSEA/SCA/UFPR. The values of the specific mass, micro, macro and total porosity of the soil obtained in the experiment are inside zones considered adequate for clayey soils. The soil presented high hydraulic conductivity, which is a characteristic of well drained soils. The pinus' cultivation did not suffer any limitations concerning aeration, because no values below the critical boundary were reached throughout the year. The soil presented a significant amount of retained water between the field capacity and the permanent wilting point, it means, a high AWC, which is a characteristic of clayey soils.

Keywords: Forest soil; water's retention curve in the soil; hydraulic conductivity.

1.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a expansão de florestas homogêneas, como as de eucalipto e de pinus em larga escala ocupa extensas áreas. No entanto, ainda são poucos os estudos a respeito dos impactos que as florestais podem causar ao solo (Martins et al., 2002). De forma geral, os valores de atributos físicos do solo, como massa específica do solo, água disponível e porosidade do solo, permitem compreender os efeitos dos tipos de uso e por meio de comparações, entender a influência sobre a qualidade do solo (Lal, 1994).

O solo mantido em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresenta atributos físicos, como massa específica, porosidades, agregação e permeabilidade consideradas adequadas (Andreola et al., 2000). Entretanto, quando o solo é submetido ao plantio agrícola, os atributos físicos podem sofrer alterações (Neves et al., 2007), tornando-se fundamental a avaliação dos mesmos após a introdução de atividades antrópicas, por serem capazes de promover a perda da qualidade estrutural e aumentar a suscetibilidade à erosão (Bertol et al.,2001).

Os atributos físico-hídricos do solo são importantes componentes na avaliação das condições da qualidade do solo, ou seja, de sua capacidade produtiva, uma vez que influencia a aeração, infiltração, capacidade de armazenamento e disponibilidade de água para as plantas (Reichert et al., 2003; Bognola et al., 2010).

O estudo da massa específica do solo é importante para entender as alterações promovidas pela introdução de uma nova espécie. Schumacher (2000) em experimento com um ano de implantação do *P. taeda*, em área anteriormente de campo nativo, observaram redução nos valores de massa específica do solo, os quais foram justificados pela presença do sistema radicular do pinus, proporcionando maior aeração à estrutura do solo. Por outro lado, o estudo da porosidade total do solo é uma das maneiras de caracterizar e quantificar outros aspectos do solo (Klein & Libardi, 2002). Para Kiehl (1979), a porosidade total de um solo ideal para a produção agrícola deve ser de 0,5 m^3 m^{-3}, sendo a distribuição de 2/3 para microporos e 1/3 para macroporos, para compor o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo (Hillel, 1970).

A porosidade de aeração é relativa ao espaço poroso não ocupado pela água (Reichardt & Timm, 2004). Erickson (1982), em revisão sobre porosidade de aeração verificou, para maioria das culturas, que o valor mínimo de espaço poroso livre de água deve ficar entorno de 0,10 m^3 m^{-3}. No entanto, esses valores são apenas uma referência pois a taxa de difusão

gasosa no solo depende da profundidade e densidade do sistema radicular, temperatura do solo e tortuosidade do espaço poroso e da cultura (Jong van Lier, 2001).

A condutividade hidráulica saturada permite verificar a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil de solo (Reichardt & Timm, 2004). Cavichiolo (2005), avaliando preparos do solo para a implantação florestal, encontrou valores de condutividade hidráulica saturada duas vezes maiores nas áreas com revolvimento mais intensivo, comparado aos tratamentos sem revolvimento e na mesma profundidade (0 a 10 cm). A maior condutividade na camada superficial dos tratamentos com revolvimento foi atribuída à maior proporção de macroporos gerada no preparo do solo, sendo responsáveis por drenar a água mais rapidamente. Na ausência de revolvimento superficial, a maior permeabilidade em superfície foi relacionada com a maior quantidade de matéria orgânica, sugerindo que o pinus favoreceu os altos teores, elevando também os valores da condutividade hidráulica.

A determinação da curva de retenção de água do solo é importante nos estudos da dinâmica da água no solo, permitindo quantificar a água disponível no solo e os processos dinâmicos envolvendo o sistema solo-planta-atmosfera (Costa et al., 2008). Dexter (2004) considera que a curva de retenção de água no solo pode ser utilizada como índice de qualidade física do solo. Sistemas de uso e manejo podem alterar drasticamente a distribuição de poros por tamanho, que por sua vez causam mudanças no formato da curva de retenção da água no solo.

Dentro deste contexto, teve-se como objetivo no presente trabalho caracterizar os atributos físico-hídricos de um Latossolo sob *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borda, Estado do Paraná.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Caracterização da Área de Estudo

Os dados de campo foram coletados em um experimento realizado na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, localizada na região de Telêmaco Borba, Paraná, nas coordenadas 24° 13′ 19” de latitude Sul, 50° 32′ 33” de longitude Oeste e 700 m de altitude. Os dados foram coletados no ano de 2009 (Pachechenik, 2010), em área de *Pinus taeda* com idade de plantio de seis anos (Figura 1.1).

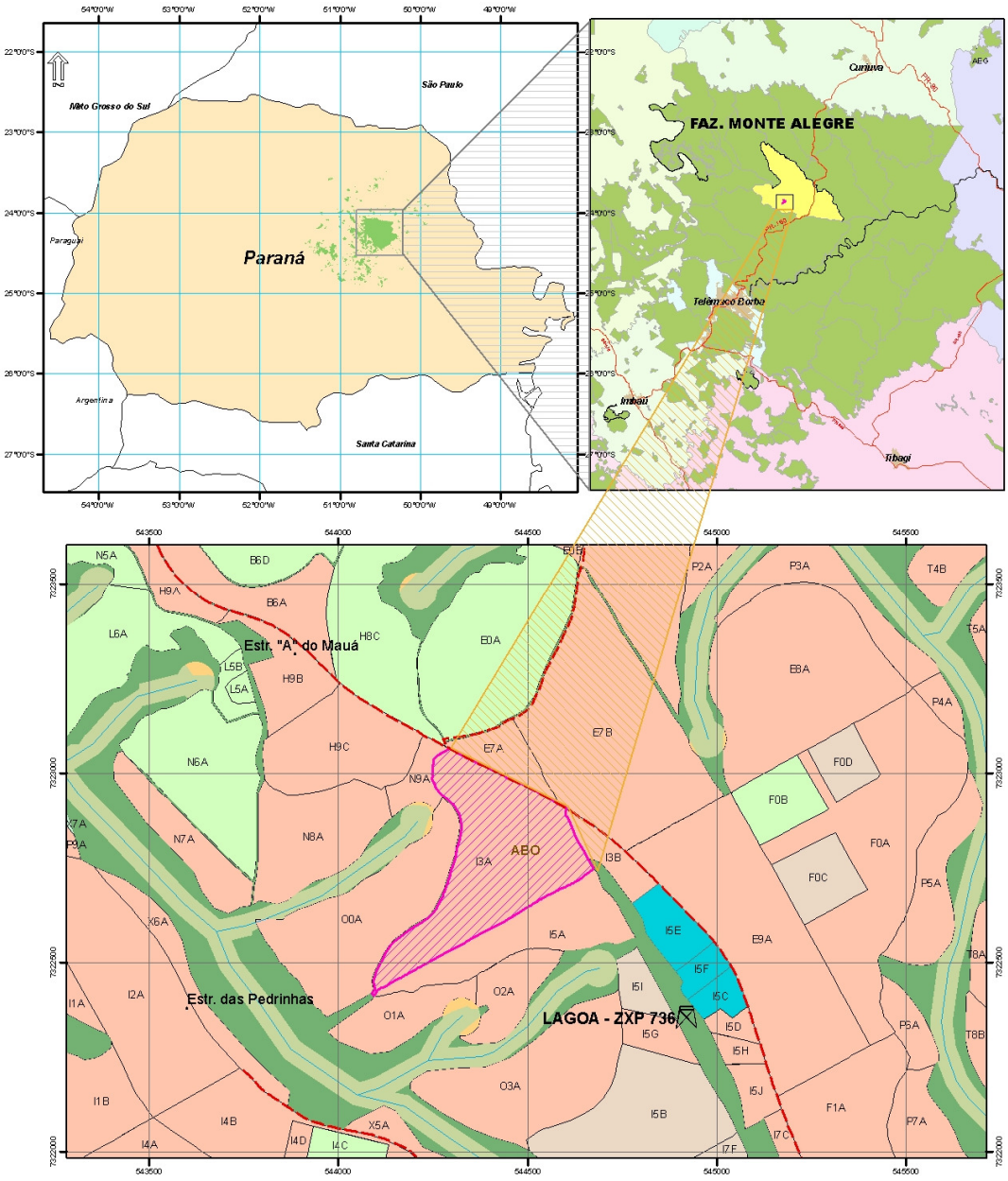


Figura 1.1 – Localização da fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, na região de Telêmaco Borba, contendo a área de pinus.

A região está localizada no Segundo Planalto Paranaense e, segundo a classificação de Koppen, apresenta clima tipo Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito, com temperatura média no mês mais frio inferior a 16°C, ocorrência de geadas e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, tendo verões quentes. (Caviglione et al., 2000).

O solo do experimento contendo o plantio de *Pinus taeda* foi classificado como o Latossolo Vermelho A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

1.2.2 Atributos físico do solo

As amostras indeformadas foram coletadas em outubro de 2009, em duas trincheiras escavadas na área do pinus, contendo 1,8 m de profundidade, 1,5 m de largura e 3 m de comprimento (Figura 1.2). As amostras foram retiradas com auxílio de anéis volumétricos (volume igual a 49,88 cm^3), nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m, com três repetições em cada profundidade por trincheira.

Figura 1.2 – Trincheira onde foram coletadas as amostras indeformadas de solo, localizada na região de Telêmaco Borba, Paraná.

A determinação dos atributos físicos do solo com as amostras indeformadas (massa específica, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção da água no solo) foi realizada conforme os procedimentos da EMBRAPA (1997), sendo:

(a) A determinação da massa específica foi realizada com o método do anel volumétrico;

(b) Para a determinação das tensões e conseqüentemente da curva de retenção da água do solo, as amostras foram previamente saturadas em laboratório e submetidas ao processo de

secagem com tensões de 0,006; 0,01; 0,1 e 1,5 MPa, sendo utilizadas para esse processo a mesa de tensão e câmara de Richards. Considerou-se como capacidade de campo (θcc) e ponto de murchamento permanentes (θ_{PMP}) os valores de umidade obtidos nas tensões de 0,006 MPa e 1,5 MPa, respectivamente. A porosidade total foi considerada igual a umidade volumétrica do solo na saturação (θ_s). Os valores de microporosidade do solo foram considerados iguais aos valores de θcc. Os valores de macroporos das amostras foram obtidos fazendo a diferença entre aθ_s e a θcc (Araujo et al., 2004);

(c) A condutividade hidráulica foi determinada com o método do permeâmetro de carga constante, conforme EMBRAPA (1997).

As amostras deformadas foram retiradas semanalmente entre os dias 08 de janeiro e 30 de dezembro de 2009, com o auxílio do trado holandês, em 20 pontos dentro da área experimental, nas profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m. Os atributos físicos do solo com amostras deformadas (umidade gravimétrica) foram determinados conforme os procedimentos da EMBRAPA (1997).

No laboratório as amostras passaram por determinações de massa do solo úmido e seco, após 24 h, em estufa a 105 ^{o}C (EMBRAPA, 1997).

A umidade gravimétrica do solo (U) foi obtida com a expressão:

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s}$$

Sendo: U – umidade gravimétrica (kg kg^{-1}); m_u – massa do solo úmido (kg) ; m_s – massa do solo seco (kg).

Os dados de umidade gravimétrica (U) do solo foram transformados em umidade volumétrica (θ) com a expressão:

$$\theta = \frac{U \cdot \rho_s}{\rho_a}$$

Sendo: θ – umidade volumétrica (m^3 m^{-3}); U – umidade gravimétrica (kg kg^{-1}); ρ_s – massa específica do solo (kg m^{-3}); ρ_a – massa específica da água (kg m^{-3}) - considerada igual 1000 kg m^{-3}.

A porosidade de aeração foi determinada com a expressão:

$$\beta = (\alpha - \theta)$$

Sendo: α – porosidade total ($m^3\ m^{-3}$); β – porosidade de aeração ($m^3\ m^{-3}$); θ – umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$).

1.2.3 Ajuste da curva de retenção de água no solo

Os valores de umidade e tensão da água do solo, obtidos para cada profundidade, foram ajustados pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980), sendo utilizado o programa *Soil Water Retencion Curve*, desenvolvido por Dourado Neto et al. (2001).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left(1 + (\alpha \cdot \psi_m)^n\right)^b}$$

Sendo: θ – umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$); θ_r – umidade volumétrica residual ($m^3\ m^{-3}$); θ_s – umidade volumétrica na saturação ($m^3\ m^{-3}$), ψ_m – potencial matricial da água no solo (hPa); α – parâmetro empírico de ajuste da curva de retenção (hPa^{-1}), n e m – parâmetros empíricos de ajustes (adimensionais).

No ajuste da curva de retenção (Dourado Neto et al., 2001) considerou-se a restrição

$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

1.2.4 Determinação da condutividade hidráulica não saturada $K(\theta)$

A estimativa dos valores de condutividade hidráulica não saturada $K(\theta)$ foi realizada com a equação de Mualem (1976) e com os parâmetros de regressão obtidos pelo modelo de Van Genutchen (1980).

$$K(\theta) = K_0 \cdot \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^{\ell} \left[1 - \left(1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^{\frac{1}{m}}\right)^m\right]^2$$

Sendo: $K(\theta)$ – condutividade hidráulica não saturada do solo ($mm\ dia^{-1}$); K_0 – condutividade hidráulica do solo saturado ($mm\ dia^{-1}$); ℓ – parâmetro empírico estimado por Mualem (1976) como sendo aproximadamente igual a 0,5; m – parâmetros de ajuste da equação de Van

Genutchen (1980) (adimensional); θ – umidade volumétrica (m^3 m^{-3}); θ_r – umidade volumétrica residual (m^3 m^{-3}); θ_s – umidade volumétrica na saturação (m^3 m^{-3}).

1.2.5 Capacidade de água disponível (*CAD*)

Para o cálculo da capacidade de água disponível foi utilizado a expressão:

$$CAD = \sum_{i=i}^{n} (\theta_{CC\,i} - \theta_{PMP\,i}) \cdot z_i$$

Sendo: *CAD* – capacidade de água disponível no solo (mm); θ_{CCi} – umidade volumétrica do solo na capacidade de campo, na *i*-ésima profundidade (m^3 m^{-3}); θ_{PMPi} – umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente, na *i*-ésima profundidade (m^3 m^{-3}); z_i – *i*-ésima profundidade do solo (mm); *n*– número de camadas no perfil de solo considerado.

1.2.6 Procedimentos Estatísticos

Os dados dos atributos físicos do solo foram organizados, agrupados e analisados em planilha eletrônica. Realizou-se análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (5%) de comparação de médias.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de massa específica do solo obtidos no experimento (Tabela 1.1) ficaram entre 1100 a 1230 kg m^{-3} e estão dentro da faixa mencionada por Reichardt & Timm (2004) para solos de textura fina (argilosos). Os menores valores ocorreram na camada de 0,10 m, em razão do maior teor de matéria orgânica e quantidade de raízes nessa camada (Brun, 2008), aumentando a porosidade total e diminuindo a massa específica do solo. Exceto na camada entre 0,6 e 1,0 m, foi observada tendência de aumento da massa específica do solo como aumento da profundidade. O resultado concorda com Dedecek et al. (2008), quando comentam que a maior massa específica em profundidade ocorre devido ao peso do solo das camadas superiores, ocasionando compactação natural. No entanto, é importante ressaltar que não houve diferença significativa entre as médias de massa específica nas profundidades analisadas.

Segundo Baver et al. (1972) e Kiehl (1979) a quantidade ideal de macroporos no solo deve ficar entre 0,10 e 0,16 $m^3\ m^{-3}$. Como a macroporosidade do solo estudado se enquadra aproximadamente dentro do intervalo recomendada pelos dois autores (Tabela 1.1), verificou-se que o solo encontra-se em condição adequada de manejo e cultivo do pinus. De forma geral, as camadas apresentaram tendência à diminuição do valor da macroporosidade com a profundidade.

Tabela 1.1. Massa específica do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada do solo cultivado com *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Profundidade	$\rho^{(1)}$	Macroporo	Microporo	$\alpha^{(2)}$	$K_0^{(3)}$
(m)	(kg m^{-3})	---------- ($m^3\ m^{-3}$) ----------			(mm dia^{-1})
0-0,1	1100 a	0,200 a	0,395 c	0,598 a	15607,34 a
0,1-0,2	1210 a	0,137 ab	0,403 bc	0,541 a	4097,95 b
0,2-0,4	1210 a	0,140 ab	0,395 c	0,537 a	5651,00 ab
0,4-0,6	1230 a	0,080 b	0,462 a	0,542 a	957,20 b
0,6-1,0	1160 a	0,116 ab	0,443 ab	0,561 a	904,80 b
CV (%)[4]	6,0	24,8	3,5	4,0	71,2

[1]Massa específica do solo; [2]Porosidade total; [3]Condutividade hidráulica saturada do solo; [4] Coeficiente de Variação.* Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

A microporosidade variou entre 0,395 a 0,462 $m^3\ m^{-3}$ (Tabela 1.1), o que significa que o solo apresentou sistema de micro canais que evitam rápida drenagem entre eventos de precipitações. A microporosidade está vinculada a retenção de água no solo, pois é nos micro canais que as forças capilares e de adsorção atuam (Reichardt & Timm, 2004).

Nas análises realizadas verificou-se valores de porosidade total entre 53,7 e 59,8% (Tabela 1.1), sendo considerados adequados (Kiehl, 1979). Na camada 0-0,10 m verificou-se o maior valor médio (0,598 $m^3\ m^{-3}$), sendo que nas camada de 0,2-0,4 a 0,6-0,8 m os valores ficaram em aproximadamente 0,54 $m^3\ m^{-3}$. Para Silva et al. (2005), a maior porosidade total na superfície em relação a subsuperfície deve-se aos ciclos sucessivos de umedecimento e secagem que ocorrem na superfície do solo, aliado à melhoria pela maior atividade biológica e acúmulo de matéria orgânica.

De modo geral, a micro, macro e porosidade total do solo estudado se enquadraram nas faixas consideradas adequadas. O resultado obtido é adequado, pois um solo com macroporosidade superior ao ideal tem dificuldade em formar fluxo contínuo de água para permitir os mecanismos de movimentação dos nutrientes até a zona radicular (Wolkowski,

1990). Por outro lado, solo com dominância de microporosidade tem mais poros saturados, facilitando os fluxos de massa e difusão dos nutrientes, mas com menor circulação do ar, promovendo oxigenação deficiente. Dessa forma, quando a estrutura do solo não é adequada, pode haver redução do crescimento do sistema radicular das plantas, tendo como consequência menor volume de solo a ser explorado pelas raízes, em vista do menor fluxo de ar e água do solo (Bognola et al., 2010).

O solo estudado apresentou alta condutividade hidráulica (K_0) (Tabela 1.1), provavelmente devido à alta porosidade. Houve tendência à redução da K_0 com o aumentou da profundidade do perfil, o que também foi evidenciado por Silva et al. (2008) e Dalbianco (2009). Elevados valores de K_0 refletem a importância da continuidade dos macroporos para o fluxo de água na saturação. Nas camadas superficiais, a maior permeabilidade em superfície geralmente está relacionada com a maior quantidade de matéria orgânica (Cavichiolo, 2005), sugerindo que o pinus na área experimental está contribuindo para aumentar os valores da condutividade hidráulica saturada do solo.

De forma geral, a profundidade de 0-0,1 m sempre apresentou os maiores valores médios de porosidade de aeração (β) ao longo do ano (Figura 1.3), assim como a profundidade de 0,4-0,6 m sempre apresentou os menores valores ao longo do ano. A maior porosidade de aeração nas camadas superficiais pode ser justificada pela presença do sistema radicular do pinus, proporcionando maior aeração à estruturação ao solo (Schumacher et al., 2000). As profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m apresentaram valores médios de β muito próximos (Figura 1.3 e Tabela 1.2). Alguns períodos do ano apresentaram valores de β abaixo do ideal (Figura 1.3), conforme considerado por Reichardt & Timm (2004) (0,25 $m^3\ m^{-3}$). No entanto, os limites ideais não estão bem definidos na literatura. Erickson (1982) considera necessário no mínimo 0,10 $m^3\ m^{-3}$ de poros de aeração para a maioria das culturas. Valores abaixo de 0,10$m^3\ m^{-3}$ não foram atingidos no período de estudo, indicando que a cultura de pinus, provavelmente, não sofreu limitações quanto à aeração, mas ficou próxima, principalmente na estação mais chuvosa do ano estudado.

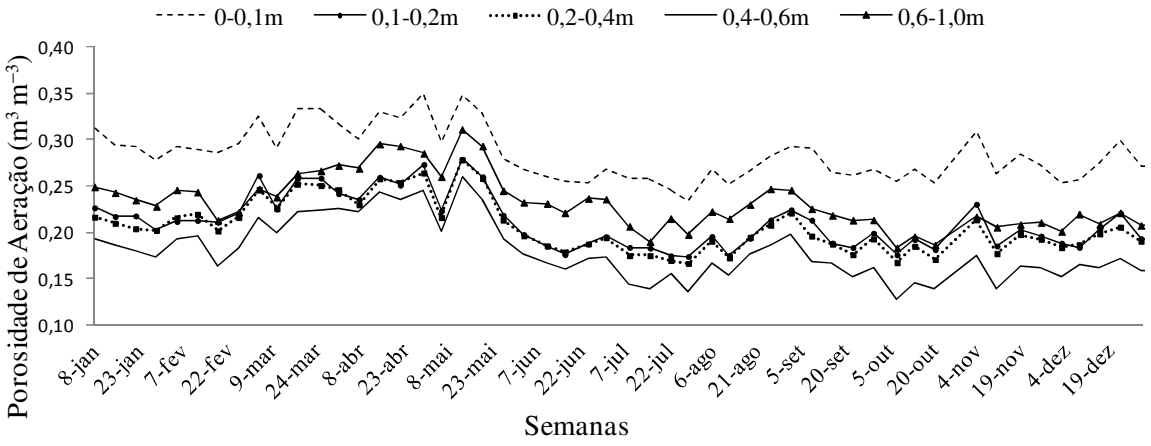


Figura 1.3 – Porosidade de aeração do solo (β), ao longo do ano, nas profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m, em solo cultivado com *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

A média da porosidade de aeração (β) nas estações do ano variou entre 0,153 (profundidade 0,4-0,6 m; primavera) e 0,307 (profundidade de 0-0,1 m; outono) (Tabela 1.2). No ano analisado, o outono foi a estação mais seca do ano e a primavera a estação mais chuvosa.

Independentemente da estação do ano a camada que apresentou maior porosidade de aeração foi a 0,10 m, com valores variando de 0,264 a 0,307 m^3 m^{-3} (Figura 1.3), sendo essa a camada com menor massa específica e maior macroporosidade do solo (Tabela 1.1). A camada que teve a menor porosidade de aeração foi a 0,4-0,6 m, com valores variando de 0,153 a 0,215 m^3 m^{-3} (Figura 1.3), sendo a camada com maior massa específica e menor macroporosidade do solo (Tabela 1.1).

Tabela 1.2. Média da porosidade de aeração do solo, nas diferentes estações do ano e profundidades, em solo cultivado com *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Profundidade	----- Valor médio da porosidade de aeração do solo nas estações do ano -----			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
(m)	---------- (m^3 m^{-3}) ----------			
0-0,1	0,297 a	0,307 a	0,264 a	0,267 a
0,1-0,2	0,222 c	0,236 c	0,193 c	0,193 c
0,2-0,4	0,216 c	0,233 c	0,188 c	0,187 c
0,4-0,6	0,188 d	0,215 d	0,164 d	0,153 d
0,6-1,0	0,235 b	0,268 b	0,222 b	0,205 b
CV(%)*	2,9	2,2	3,1	3,2

*Coeficiente de Variação.**Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).

O solo estudado na área experimental apresentou elevada capacidade de retenção de água, devido ao alto teor de argila, característica de solos argilosos. Por isso, também apresentou grande quantidade de água retida entre a capacidade de campo (0,006 MPa) e ponto de murcha permanente (1,5 MPa) (Tabela 1.3).

A compactação provoca a redução da porosidade total do solo em decorrência da diminuição dos poros maiores. Portanto, o teor de água na saturação e teores de água retidos a baixas tensões são reduzidos. Deste modo, o traçado das curvas de retenção de água no solo demostrou que o solo estudado está sendo bem manejado, sem sinais de compactação do solo (Figura 1.4).

Tabela 1.3. Umidade volumétrica da capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e parâmetros da equação de Van Genuchten (1980), obtidos do ajustamento da curva com os pontos de retenção de água no solo, amostrado na área cultivada com *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Profundidade	θ_{CC}	θ_{PMP}	α [1]	m [1]	n [1]	θr [1, 2]	θ_s [1, 3]
(m)	------ ($m^3\ m^{-3}$) ------		(hPa^{-1})	---(adimensional) ---		--------- ($m^3\ m^{-3}$) ---------	
0-0,1	0,395	0,191	0,540	0,108	1,122	0,010	0,598
0,1-0,2	0,403	0,215	0,293	0,096	1,106	0,010	0,541
0,2-0,4	0,395	0,214	0,304	0,094	1,106	0,010	0,537
0,4-0,6	0,462	0,215	0,030	0,267	1,364	0,176	0,542
0,6-1,0	0,439	0,195	0,057	0,216	1,275	0,127	0,568

[1]Parâmetros empíricos da equação de Van Genuchten (1980); [2]Conteúdo residual de água do solo($m^3\ m^{-3}$); [3]Conteúdo de água na condição de solo saturado ($m^3\ m^{-3}$).

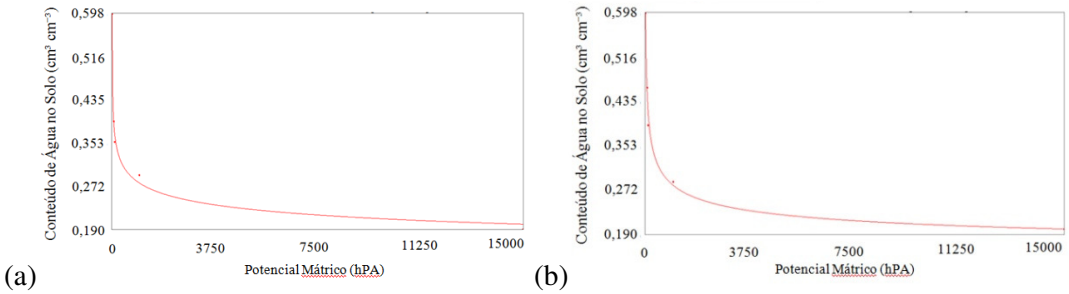


Figura 1.4 – Curva de retenção da água no solo na área experimental contendo plantio de *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná: (a) cama de 0-0,1 m; (b) camada de 0,6-1,0 m.

A partir dos valores de condutividade hidráulica saturada (Tabela 1.1) e dos parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) (Tabela 1.4) foram constituídas as equações da condutividade hidráulica não saturada para o solo em estudo, em função da variável ω (umidade efetiva), conforme se encontra exemplificado na equação abaixo, para a profundidade 0,6-1,0 m.

$$K(\theta) = K_0 \cdot \omega^{0,5} \cdot \left[1 - \left(1 - \omega^{\frac{1}{0,216}} \right)^{0,216} \right]^2$$

Com as equações para cada profundidade, calcularam-se os valores de $K(\theta)$ médio ao longo do ano, para as cinco profundidades analisadas (Figura 1.5).

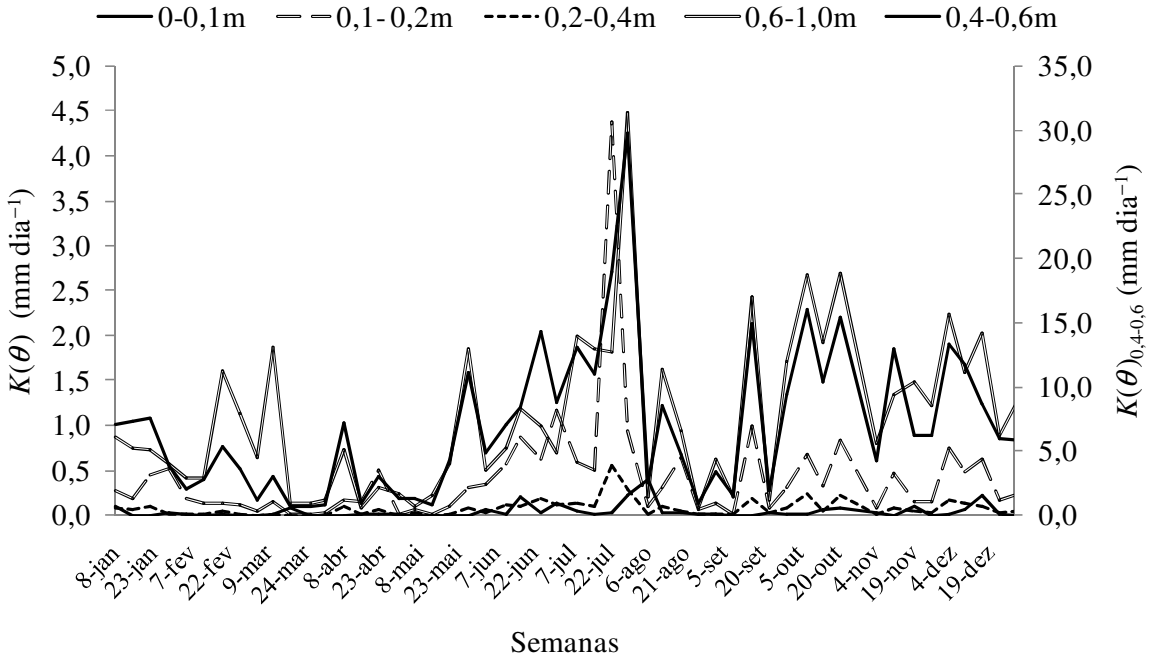


Figura 1.5 – Condutividade hidráulica não saturada $K(\theta)$ média, ao longo do ano, nas profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m, em solo cultivado com *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

O maior conteúdo volumétrico de água disponível no solo ($\theta_{disp} = \theta_{cc} - \theta_{pmp}$) foi verificado nas profundidades de 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m, em média 0,247 $m^3\ m^{-3}$ e 0,244 $m^3\ m^{-3}$, respectivamente. Nas profundidades de 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m os valores também ficaram

próximos, sendo em média 0,204; 0,188; 0,181 $m^3 m^{-3}$, respectivamente (Figura 1.6). Correia et al. (1996) ressaltam que a disponibilidade de água foi essencial para o crescimento do *Pinus taeda* em estudo verificando o incremento anual volumétrico de madeira.

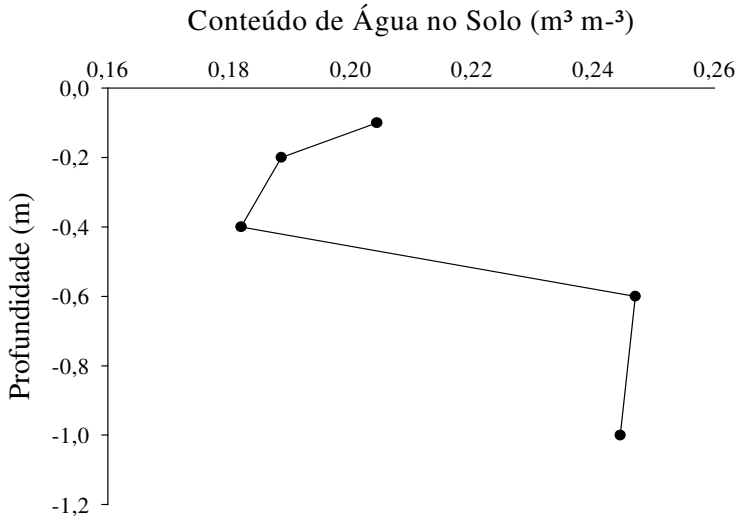


Figura 1.6 – Conteúdo volumétrico de água disponível no solo ($\theta_{disp} = \theta_{cc} - \theta_{pmp}$), na área cultivada com *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Os valores de *CAD* calculados para o solo foram de 20,4; 18,8; 36,2; 49,4 e 97,6 mm, para as profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-1,0 m, respectivamente. Assim, a *CAD* para a camada de 1 m ficou em 222,4 mm. Os valores encontrados estão de acordo com trabalhos realizados em Latossolos com texturas argilosa, sendo que Amado et al. (2009) encontrou *CAD* média de 35 mm até 0,2 m de profundidade em Palmeira das Missões, no Rio Grande do Sul. Barreto et al. (2011) verificaram *CAD* de 50,0 mm na camada de 0-0,2 m e 45,6 mm na camada de 0,2-0,4 m em estudo realizado em um Latossolo Vermelho, em Minas Gerais.

1.4 CONCLUSÕES

Os valores de massa específica, micro, macro e porosidade total do solo obtidos no experimento se enquadraram nas faixas consideradas adequadas para solos de textura argilosa.

O solo estudado apresenta alta condutividade hidráulica (K_0), característica de solos bem drenados, provavelmente devido à alta porosidade e à estrutura granular característica dos Latossolos.

A cultura do pinus não sofreu limitações quanto à aeração do solo, pois, valores abaixo do limite crítico não foram atingidos ao longo do ano.

O solo tem grande quantidade de água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, consequentemente apresenta alta capacidade de água disponível, característica de solos argilosos.

1.5 LITERATURA CITADA

AMADO, T. J. C; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L. & SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:831-843, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M. & OLSZEVSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24:857-865, 2000.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A. & SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:337-345, 2004.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R. Soil structure: classification and genesis. In: BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R (Eds.). Soil Physics, New York: John Wiley, 130-177, 1972.

BARRETO, H. B. F.; BATISTA, R. O.; FREIRE, F. G. C.; SANTOS, W. O. & COSTA, F. G. B. Análise de indicadores de retenção e armazenamento de água no solo do perímetro irrigado Gorutuba, em Janaúba-MG. Revista Verde, 6:189-192, 2011.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Scientia Agricola, 58:555-560, 2001.

BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J. & HIGA A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. Pesquisa Florestal Brasileira, 30:37-49, 2010.

BRUN, E. J. Matéria orgânica do solo em plantios de P*inus taeda* e P. *elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008. 118p. (Tese Doutorado)

CAVICHIOLO, S. R. Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica em diferentes métodos de preparo do solo em plantio de *Pinus taeda*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. 152p. (Tese Doutorado)

CAVIGLIONE, J. H; KIIHL, L. R. B. ; CARAMORI, P. H; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina, IAPAR, 2000. Disponível em http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677 Acesso em 18 Jan. 2012.

CORREIA, J. R.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L.; CRUZ, C. D. Estudo do relacionamento entre características físicas e químicas do solo e a produtividade do gênero *Pinus*. Revista Árvore, 20:161-169, 1996.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:515-523, 2008.

DALBIANCO, L. Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural. Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 116 p. (Dissertação de Mestrado).

DEDECEK, R. A.; FIER I. S. N.; SPELTZ R.; LIMA, L. C. S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e química do solo. Revista Floresta, 38:507-416, 2008.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. Geoderma, 120:227-239, 2004.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). Scientia Agricola, 57: 191-192, 2001.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1997.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

ERICKSON, A. E. Tillage effects on soil aeration. In. PREDICTING TILLAGE EFFECTS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES, 1982, Madison. Proceedings. American Society of Agronomy, 1982, p.91-104.

HILLEL, D. Solo e água; fenômeno e princípios físicos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

JONG van LIER, Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25:233-238, 2001.

KLEIN, V. A. e LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26:857-867, 2002.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

LAL, R. Water management in various crop production systems related to soil. Soil and Tillage Reserarch, 30:169-185, 1994.

MARTINS, S. G.; SILVA M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. Cerne, 8:32-42. 2002.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research, 12:513-522, 1976.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. Scientia Forestalis, 74:45-53, 2007.

PACHECHENIK, P. E. Demanda hídrica em plantio de pinus e em uma floresta nativa, na região de Telêmaco Borba.Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010. 111p. (Tese Doutorado)

REICHARDT, K. & TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP: Manole, 2004. 478 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, Santa Maria, 26:26-48, 2003.

SCHUMACHER, M. V. Caracterização física e química de um solo em uma área de campo nativo, com floresta de *Pinus taeda* L.Santa Maria: Laboratório de Ecologia Florestal/FATEC/UFSM, 2000. 30 p.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. Ciência Rural, 35:544-552, 2005.

SILVA, G. J.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho Amarelo do cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32: 2135-2143, 2008.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Science Society America Journal, 44:892-898, 1980.

WOLKOWSKI, R. P. Relationship between wheel-traffic-induced soil compaction, nutrient availability, and crop growth: a review. Journal of Production in Agriculture, 3: 460-469, 1990.

CAPÍTULO 2 – BALANÇO HÍDRICO DO SOLO CULTIVADO COM *Pinus taeda* L., CONTENDO DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO, EM TELÊMACO BORBA, ESTADO DO PARANÁ

RESUMO

Teve-se por objetivo, no presente trabalho, quantificar e comparar as componentes do balanço hídrico em um Latossolo, ao longo do ano, para diferentes densidades de plantio de *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Paraná. O experimento foi instalado na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal. Escolheu-se uma área com povoamento de *Pinus taeda* com seis anos de idade, plantado em um Latossolo Vermelho A moderado de textura argilosa. O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco tratamentos (densidades de povoamento de pinus), sendo: T100 (100% de cobertura – plantio padrão); T75 (75% de cobertura); T50 (50% de cobertura); T25 (25% de cobertura); e T0 (sem cobertura - corte raso). Os valores de umidades do solo e precipitação interna foram coletados e registrados semanalmente ao longo do ano. O armazenamento de água no solo foi calculado valendo-se da regra do trapézio e a drenagem profunda e ascensão capilar foram estimadas com a equação de Darcy-Buckingham. O armazenamento de água do solo foi maior no tratamento T0. Os tratamentos T100 e T75 obtiveram armazenamento de água no solo superior aos tratamentos T50 e T25 ao longo do ano. Em média, nenhum tratamento atingiu o armazenamento referente à capacidade de campo ou ao ponto de murcha permanente ao longo do ano. O valor médio de drenagem profunda dos tratamentos ficou em 100,2 mm ano^{-1}. Os tratamentos que apresentaram os maiores valores de drenagem profunda ao longo do ano foram T100 e T75. A evapotranspição real média dos tratamentos de *Pinus taeda* ficou em 1388 mm ano^{-1}. A menor densidade de povoamento resultou em maior evapotranspitação real, devido ao crescimento de árvores remanescentes de *Pinus taeda*. A maior demanda evapotranspirativa ocorreu após a retomada de crescimento da cultura estudada.

Palavras-chave: Floresta exótica, espaçamento, relações hídricas

CHAPTER 2 – THE *Pinus taeda* L. CULTIVATED SOIL'S WATER BALANCE, CONTAINING DIFFERENT PLANTING DENSITIES, IN TELEMACO BORBA, STATE OF PARANA

ABSTRACT

The objective of this study was to quantify and compare the components of the Latosoil water balance throughout the year, for different *Pinus taeda* planting densities, in Telemaco Borba, Paraná. The experiment was performed at Monte Alegre Farm, which belongs to the Klabin Florestal company. The chosen area was populated with six year old *Pinus taeda*, which was planted in moderate A-Red, clayey, Latosol (OXISOL). The experimental design was done in random blocks, with four replicates and five different treatments (pinus' population density), being: T100 (coverage of 100% – standard plantation); T75 (coverage of 75%); T50 (coverage of 50%); T25 (coverage of 25%); and, T0 (no coverage – clear-cut). The values of soil moisture and internal precipitation were collected and registered weekly throughout the year. The water storage in the soil was calculated using the trapezoidal rule. The deep drainage and capillary ascent were estimated by using the Darcy-Buckingham equation. The soil water storage was greater at T0 treatment. The treatments T100 and T75 obtained higher water storage in the soil than T25 and T50 throughout the year. In average, none of the treatments reached the storage at the field capacity or at the permanent wilting point throughout the year. The medium value of the treatments' deep drainage was 100.2 mm per year^{-1}. The treatments that presented higher deep drainage values throughout the year were T100 and T75. The average real evapotranspiration of all the *Pinus taeda* treatments was 1388 mm per year^{-1}. The lower population density resulted in a higher real evapotranspiration, due to the growth of *Pinus taeda* remaining trees. The greatest evotranspiration demand occurred after the studied plantation's growth restarted.

Keywords: Exotic forest; spacing; hydric relations.

2.1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população e o desenvolvimento das atividades econômicas podem proporcionar situações conflitantes quanto ao uso da água, sendo que os dois lados são prejudicados quando a água torna-se limitante, podendo inviabilizar o progresso de uma determinada região. A atividade florestal, como qualquer outra atividade econômica, depende da disponibilidade de água que também deve atender à demanda resultante do crescimento populacional (Tundizi, 2000).

O plantio de florestas muitas vezes é apontado como uma prática capaz de promover a redução das reservas de água no solo. A afirmativa, no entanto, é contestada por inúmeros autores que relatam a ocorrência de melhoria no armazenamento de água do solo, redução na perda da umidade por evaporação, diminuição do escoamento superficial, além da formação de agregados no solo, que previnem a erosão (Chow, 1964; Serengil et al., 2007; Van Dijk & Keenan, 2007).

O acompanhamento das condições de armazenamento de água no solo, associado ao entendimento das necessidades da cultura, podem ser uma alternativa para o estabelecimento de estratégias de manejo do uso eficiente das reservas de água do solo (Souza, 2001; Frizzone et al., 2005), visto que a disponibilidade de água é um fator determinante no conflito entre interesses sociais e econômicos.

Nesse sentido, o balanço hídrico de água no solo, definido como o somatório das entradas e saídas de água no solo em um intervalo de tempo (Reichardt & Timm, 2004), é uma metodologia fundamental no planejamento de inúmeras atividades agrícolas (UNESCO, 1982). A literatura apresenta inúmeros modelos de simulação que foram desenvolvidos visando a solução de problemas agronômicos, hidrológicos e agrometeorológicos (Souza & Gomes, 2007; Araujo & Souza, 2008).

Com a finalidade de entender o consumo de água do solo por espécies florestais, Lima et al. (1996) compararam o consumo de água em plantações de *Eucalyptus grandis, Pinus caribea* var. *hondurensis* e a vegetação do cerrado. Realizando um balanço hídrico os autores constataram que o consumo de água do pinus foi um pouco maior que a de vegetação do cerrado, sendo considerado normal para as condições vigente. Para Trinidad et al. (2002) a espécie *Pinus taeda* apresenta altas taxas de transpiração, quando a umidade do solo se encontra próxima à capacidade de campo. Porém, em condições de estresse hídrico, a cultura conserva ou reduz as taxas, o que sugere um mecanismo adaptativo. Leite et al. (2006)

comentam que o espaçamento é um dos principais fatores que podem afetar a disponibilidade hídrica em um reflorestamento. O espaçamento altera a atividade fisiológica da planta e, conseqüentemente, o consumo de água do solo, bem como atuam sobre a interceptação da chuva.

Verifica-se assim que o estudo da demanda hídrica em solos sob plantio de florestas exóticas, como o pinus, poderá auxiliar no desenvolvimento de alternativas que visem o uso racional de água, sem comprometer o equilíbrio ambiental e favorecer a expansão da atividade florestal de forma eficiente.

Dentro desse contexto, teve-se por objetivo no presente trabalho quantificar e comparar as componentes do balanço hídrico em um Latossolo, ao longo do ano, para diferentes densidades de plantio de *Pinus taeda*, em Telêmaco Borba, Paraná.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados de campo foram coletados em um experimento realizado na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, localizada na região de Telêmaco Borba-PR, nas coordenadas 24° 13′ 19” de latitude Sul, 50° 32′ 33” de longitude Oeste e 700 m de altitude. Os dados foram coletados no ano de 2009 (Pachechenik, 2010), em uma área de *Pinus taeda* com idade de plantio de seis anos (Figura 2.1).

A região está localizada no Segundo Planalto Paranaense e conforme a classificação de Koppen, apresenta clima tipo Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito, com temperatura média no mês mais frio inferior a 16 °C, ocorrência de geadas e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, tendo verões quentes (Caviglione et al., 2000).

O solo do experimento contendo o plantio de *Pinus taeda* foi classificado como o Latossolo Vermelho A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

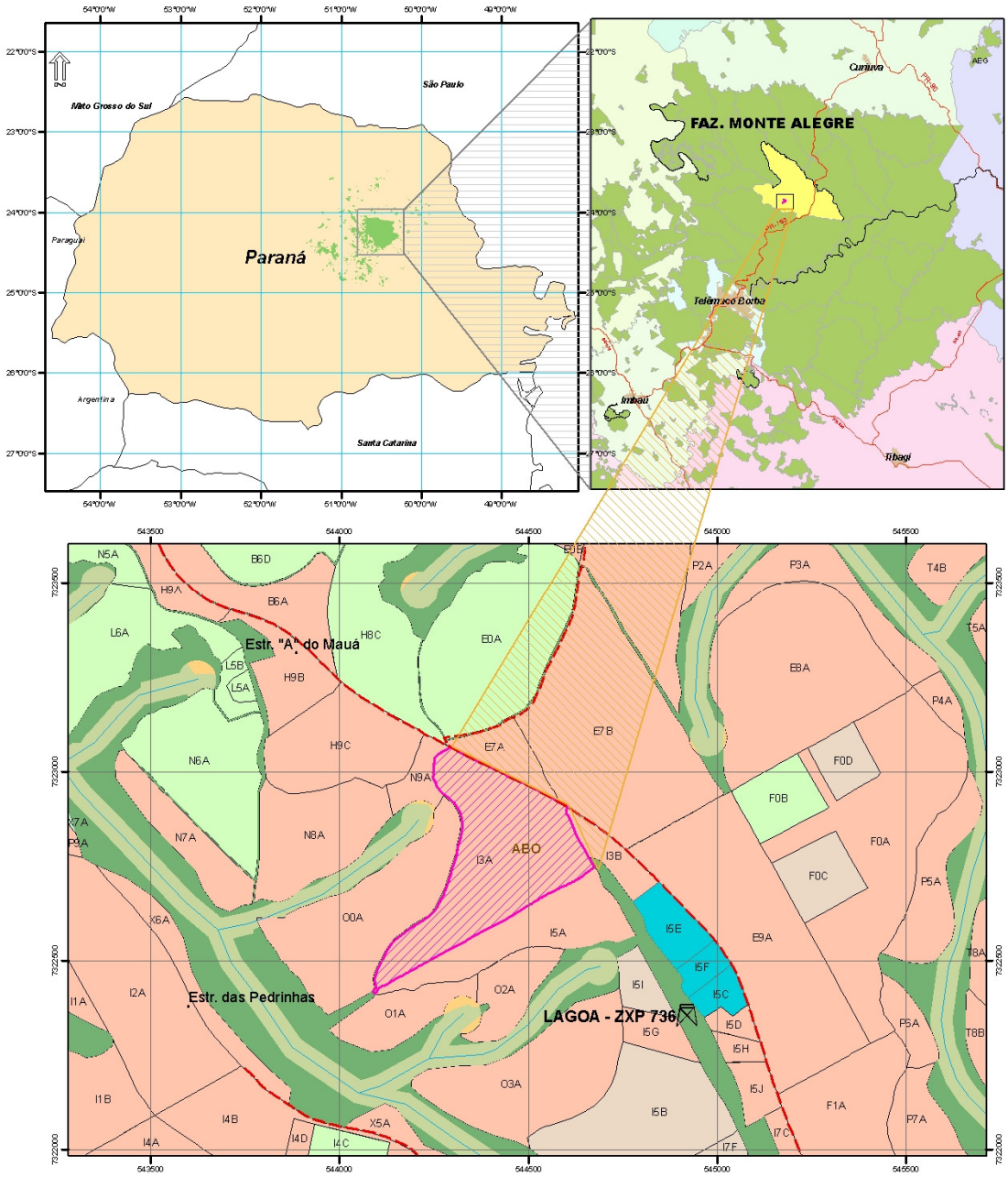


Figura 2.1 – Localização da fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, na região de Telêmaco Borba, contendo a área de pinus.

2.2.2 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos: T100 (100% de cobertura - plantio padrão); T75 (75% de cobertura); T50 (50% de cobertura); T25 (25% de cobertura); e, T0 (sem cobertura - corte raso) (Figura 2.2).

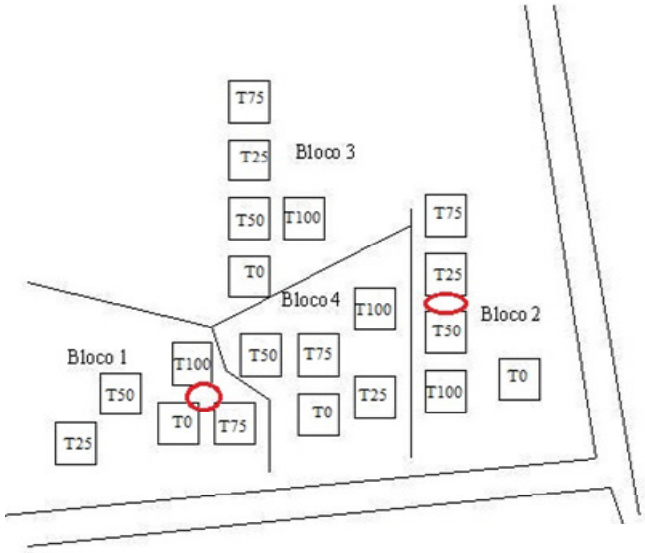


Figura 2.2 – Localização dos blocos, tratamentos e trincheiras no interior da área experimental, situada na Fazenda Monte Alegre (Klabin Florestal), Telêmaco Borba-Paraná.

2.2.3 Procedimentos para amostragem do solo

As amostras deformadas de solo foram retiradas semanalmente entre os dias 08 de janeiro e 30 de dezembro de 2009 (52 semanas), com o auxílio do trado holandês, em quatro pontos dentro de cada tratamento, nas profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m. A determinação da umidade gravimétrica foi realizada conforme os procedimentos da EMBRAPA (1997), sendo que as amostras coletadas nos dois pontos de cada tratamento foram homogeneizadas.

As amostras indeformadas foram coletadas em outubro de 2009, em duas trincheiras escavadas na área do pinus, contendo 1,5 m de largura, 3 m de comprimento e 1,8 m de profundidade (Figura 2.2). As amostras foram retiradas com auxílio de anéis volumétricos, nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m, com três repetições em cada profundidade da trincheira. Os atributos físico-hídricos do solo com as amostras indeformadas (massa específica, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção da água no solo) foram determinados conforme os procedimentos da EMBRAPA (1997).

2.2.4 Balanço hídrico do solo

A evapotranspiração real (*ER*) foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$ER = -\Delta A_L + P - D + AC$$

Sendo: *ER* – evapotranspitação real (mm período^{-1}); ΔA_L – variação do armazenamento de água no solo (mm período^{-1}); *P* – precipitação pluviométrica (mm período^{-1}); *D* – drenagem profunda (mm período^{-1}); *AC* – ascensão capilar (mm período^{-1}).

O armazenamento de água no solo (A_L) foi calculado empregando a regra do trapézio:

$$A_{Lj} = \theta_1 \cdot z_1 + \sum_{i=1}^{n} \frac{(\theta_i + \theta_{i+1}) \cdot z_i}{2}$$

Sendo: A_{Lj} – armazenamento da água no solo na *j*-ésima semana do ano (mm); θ_i – umidade volumétrica na *i*-ésima profundidade do solo (cm^3 cm^{-3}); z_i – profundidade do solo (mm); *j* – semanas ao longo do ano em que as amostras foram retiradas (52 semanas); *i* – profundidade de coleta das amostras, sendo: 1: 0-0,1; 2: 0,1-0,2; 3: 0,2-0,4; 4: 0,4-0,6;e, 5: 0,6-1,0 m.

Os valores de precipitação pluvial (*P*, em mm dia^{-1}) foram medidos com pluviômetros instalados dentro da unidade experimental, sendo 60 pluviômetros de acrílico, capacidade de 40 mm, marca Incotherm.

As componentes drenagem profunda (*D*) e ascensão capilar (*AC*) foram estimadas por meio do fluxo de água no solo (q_z), utilizando a equação de Darcy-Buckingham:

$$q_z = -K(\theta) \frac{\partial H}{\partial z}$$

Sendo: q_z – fluxo de água no solo para a profundidade considerada (mm dia^{-1}); $K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo (mm dia^{-1}); $\partial H / \partial z$ – gradiente de potencial total (m m^{-1}); *z* – profundidade (m).

Os valores de umidade e tensão da água do solo, obtidos para cada profundidade, foram ajustados com o modelo proposto por Van Genuchten (1980), utilizando o programa *Soil Water Retencion Curve* desenvolvido por Dourado Neto et al. (2001).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left(1 + (\alpha \cdot \psi_m)^n\right)^b}$$

Sendo: θ – umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$); θ_r – umidade volumétrica residual ($m^3\ m^{-3}$); θ_s – umidade volumétrica na saturação ($m^3\ m^{-3}$); ψ_m – potencial matricial da água no solo (hPa); α – parâmetro empírico de ajuste da curva de retenção (hPa^{-1}), n e m – parâmetros empíricos de ajuste (adimensionais).

A estimativa dos valores de condutividade hidráulica não saturada $K(\theta)$ foi realizada com a equação de Mualem (1976) e parâmetros de regressão obtidos com o modelo de Van-Genutchen (1980).

$$K(\theta) = K_0 \cdot \left(\frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_{r)}}\right)^{\ell} \cdot \left\{1 - \left[1 - \left(\frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_{r)}}\right)^{\frac{1}{m}}\right]^m\right\}^2$$

Sendo: $K(\theta)$ – condutividade hidráulica não saturada do solo (mm dia^{-1}); K_0 – condutividade hidráulica do solo saturado (mm dia^{-1}); ℓ – parâmetro empírico estimado por Mualem (1976) como sendo aproximadamente igual a 0,5; m – parâmetros de ajuste da equação de Van-Genutchen (1980) (adimensional); θ – umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$); θ_r – umidade residual ($m^3\ m^{-3}$); θ_s – umidade de saturação ($m^3\ m^{-3}$).

2.2.5 Procedimentos estatísticos

O armazenamento de água no solo e as demais componentes do balanço hídrico do solo foram calculados com o auxilio de planilha eletrônica. Para comparação dos valores de armazenamento foi realizada uma análise de variância (ANOVA) e aplicado teste de comparação de médias de Tukey (5%).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à precipitação ocorrida na área experimental da Fazenda Monte Alegre, observou-se que o período estudado caracterizou-se pela ocorrência de chuvas bem distribuídas, porém, com meses atípicos em relação à média histórica da precipitação na região de Telêmaco Borba (Tabela 2.1 e Figura 2.3).

Tabela 2.1. Precipitação normal e média mensal registrada nos tratamentos (T100, T75, T50, T25, T0) situados na Fazenda Monte Alegre, Telêmaco Borba, Estado do Paraná, entre janeiro e dezembro de 2009.

Mês	------- Precipitação (mm) -------		Mês	----- Precipitação (mm) -----	
	Experimento	Normal[(1)]		Experimento	Normal[(1)]
Janeiro	185,0	193,0	Julho	240,6	82,7
Fevereiro	130,6	157,3	Agosto	49,2	72,5
Março	29,8	114,6	Setembro	203,2	134,0
Abril	50,4	94,1	Outubro	213,4	157,2
Maio	118,8	120,7	Novembro	108,4	127,1
Junho	68,2	105,2	Dezembro	218,8	166,0

[(1)]Fonte: Normais climatológicas observadas entre o período de 1947 a 2005 para a região de Telêmaco Borba (Nunes et al., 2009).

Historicamente janeiro é o mês mais chuvoso na região de Telêmaco Borba (Figura 2.3). No entanto, embora a precipitação em janeiro de 2009 tenha ficado acima da média histórica, outros quatro meses (julho, setembro, outubro e dezembro) apresentaram precipitação superior a esse mês. No primeiro semestre apenas os meses de janeiro e maio apresentaram valores de precipitação acima da média. No segundo semestre, somente os meses de agosto e novembro apresentaram valores abaixo da média. Historicamente o inverno compreende a estação mais seca do ano na região de Telêmaco Borba (Figura 2.3). Em 2009 a estação apresentou-se mais chuvosa, principalmente durante o mês de julho, em que foi verificada precipitação mensal quase três vezes maior à média histórica (82 mm). A primavera também teve precipitação acima da média histórica. Os meses do verão e outono apresentaram precipitações 35% e 27% inferiores à média histórica.

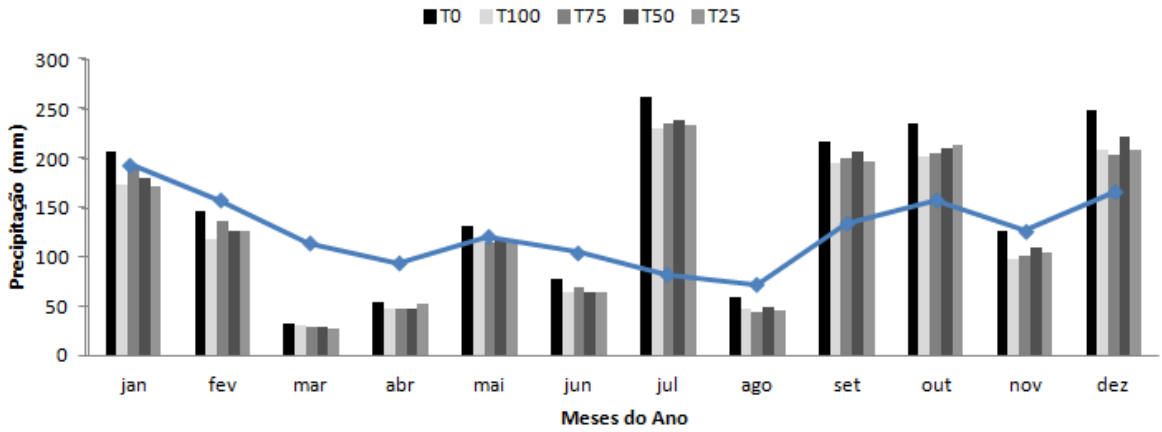


Figura 2.3 – Precipitação mensal observada nos tratamentos (T100, T75, T50, T25 e T0) durante o período entre janeiro e dezembro de 2009, para a região de Telêmaco Borba, e normais climatológicas observadas entre o período de 1947 a 2005 para a mesma região (Nunes et al., 2009).

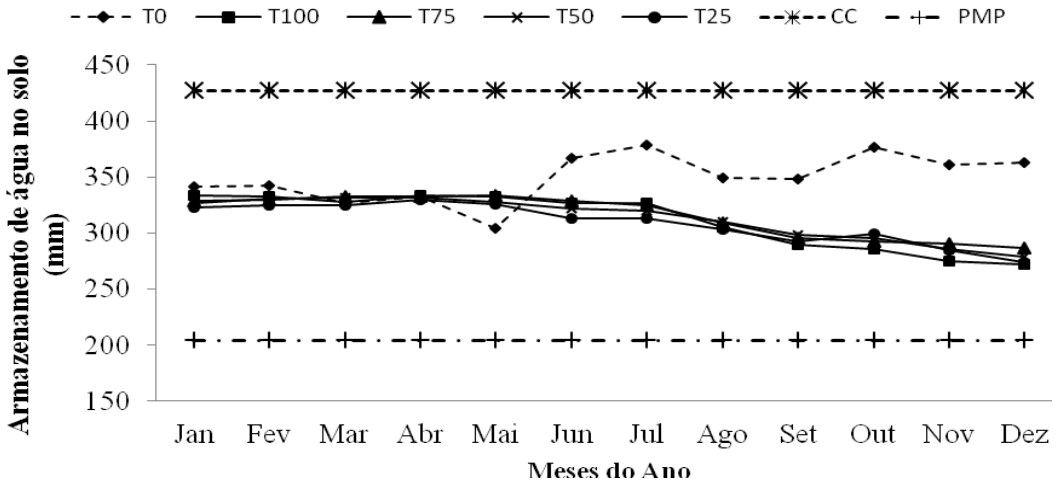
Referente à precipitação ocorrido nos tratamentos, observou-se que o tratamento T0 apresentou a maior precipitação anual (1802 mm ano^{-1}). O resultado é consistente, pois não houve interceptação da precipitação pelas folhas e troncos devido à ausência de árvores. Por ter mais árvores, o tratamento T100 apresentou menor precipitação anual (1533 mm ano^{-1}). Os tratamentos T75, T50 e T25 não apresentaram diferença significativa (p = 0,05) para precipitação anual.

Para o armazenamento de água do solo, o tratamento T0 foi o único que apresentou diferença estatística com relação aos demais, sendo que o tratamento T25 obteve o menor armazenamento de água no solo (Tabela 2.2). O menor número de árvores por área não promoveu maior armazenamento de água no solo, sendo verificado que o armazenamento nos tratamentos T100 e T75 foram maiores que os tratamentos T50 e T25 (Tabela 2.2 e Figura 2.4a). Resultados similares foram relatados por Van Dijk & Keenan (2007), em que houve decréscimo da água armazenada no solo após realização de desbastes em uma floresta. Segundo os mesmos autores, ocorreu o crescimento das árvores remanescentes, especialmente com relação ao Índice de Área Foliar (IAF), relacionado com a maior disponibilidade de luz e espaço entre as árvores.

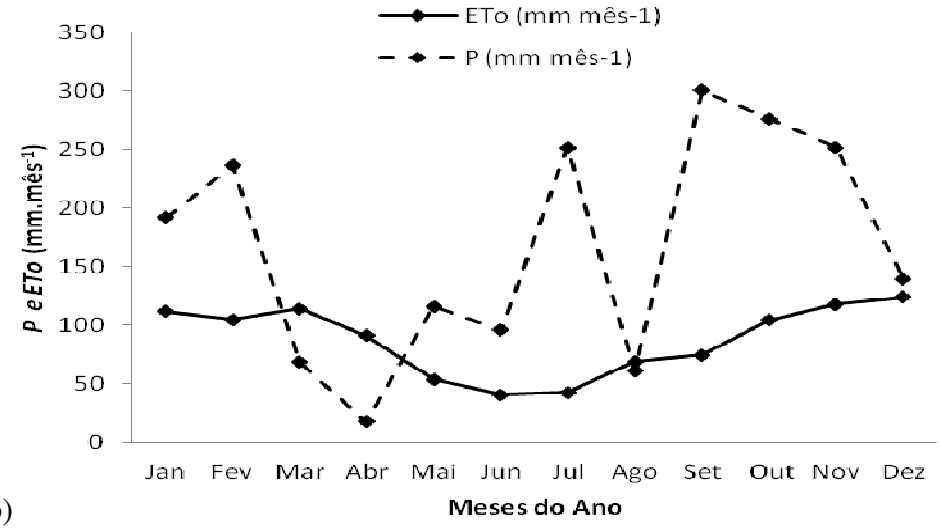
Tabela 2.2. Análise estatística do armazenamento médio mensal de água no solo contendo diferentes densidades de *Pinus taeda* (tratamentos T100, T75, T50, T25 e T0), ao longo do ano de 2009, em Telêmaco Borba-PR.

Tratamentos	Armazenamento médio mensal de água no solo (mm) *
T100	336,6 bc
T75	337,0 bc
T50	328,6 bc
T25	326,4 c
T0	349,5 a
Valor F	11,23 **

* Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05); ** p <0,01.



(a)



(b)

Figura 2.4 – (a) Armazenamento médio mensal de água no solo contendo diferentes densidades de *Pinus taeda* (tratamentos T100, T75, T50, T25, T0); e, (b) Distribuição de *P* e *ETo*, ao longo do ano de 2009, em Telêmaco Borba-PR.

O tratamento T0 apresentou armazenamento médio de água no solo 18,3%, 16,4%, 17,1% e 18,3%, maior que os tratamentos T100, T75, T50 e T25, respectivamente, nos meses de junho a dezembro (Figura 2.4a). Para os meses de janeiro e fevereiro o armazenamento médio de água no solo para o tratamento T0 foi apenas 2,5%, 3,6%, 3,8% e 5,3% maior que os tratamentos T100, T75, T50 e T25, respectivamente. No entanto, para os meses de março a maio o tratamento T0 apresentou armazenamento médio de água no solo 3,2%, 3,7%, 2,9% e 1,7% menor que os tratamentos T100, T75, T50 e T25, respectivamente (Figura 2.4a).

A lâmina média armazenada considerando as umidades na capacidade de campo, determinado com as amostras de solo dos tratamentos T100, T75, T50, T25 e T0 ficou em aproximadamente 425,3 mm. Nas amostras coletadas ao longo das 52 semanas do ano,

nenhum dos tratamentos atingiu esse armazenamento de água no solo (Figura 2.4a). O armazenamento considerando as umidades no ponto de murcha permanente, determinado com as amostras de solo dos tratamentos T100, T75, T50, T25 e T0 ficou em aproximadamente 205,0 mm. Nas amostras coletadas ao longo das 52 semanas do ano, nenhum dos tratamentos também atingiu esse armazenamento de água no solo (Figura 2.4a). Baseando-se nos valores de armazenamento de água no solo, pode-se afirmar que durante o período monitorado, o pinus não utilizou a água que estava retida no solo a tensões maiores que 1,5 MPa. No entanto, Myers & Talsma (1992) comentam que a espécie *Pinus radiata*, conseguiu retirar água do solo mesmo quando estava retida a tensões maiores que 1,5 MPa. Dessa forma, baseando-se apenas na água disponível no solo, pode-se supor que nenhum dos trabalhos limitou o desenvolvimento do pinus no período analisado.

Dentre os tratamentos, o maior armazenamento de água no solo ocorreu para o tratamento T0, no mês de julho, sendo 13,51% menor que o armazenamento na capacidade de campo. Pode-se observar que, provavelmente, com a ausência da cobertura vegetal (corte raso – T0) o armazenamento de água do solo tendeu a variar na mesma proporção que a precipitação (contraste entre Figura 2.4a e 2.4b). Para os demais tratamentos, o maior valor de armazenamento ao longo do ano ocorreu no mês de abril, em média 32,7% abaixo do armazenamento da capacidade de campo (Figura 2.4a).

O armazenamento de água no solo nos tratamentos T100, T75, T50 e T25 (Figura 2.4a) apresentaram as mesmas tendências de variação ao longo do ano. A partir de junho o armazenamento dos tratamentos T100, T75, T50 e T25 decresceram gradualmente até o mês de dezembro. O que ocorreu pode ser explicado pelo maior consumo de água pelas plantas, resultando em maior evapotranspiração no período de setembro a dezembro (Figura 2.4b).

As variações do armazenamento (Figura 2.5) de água no perfil do solo, para os cinco tratamentos, acompanharam as variações da precipitação, conforme verificado também por Antonino et al. (2000) e Lima et al. (2006).

Os valores de variação de armazenamento foram positivos nos meses de janeiro, maio, junho, julho, setembro, outubro e dezembro, tendo média igual a 7,1, 8,3, 7,9, 6,7, 2,6, 3,8 e 1,4 mm, enquanto os meses de fevereiro, março, abril, agosto e novembro obtiveram valores negativos, em média, −2,4, −11,1, −0,1, −12,8 e −3,7 mm, respectivamente (Figura 2.5).

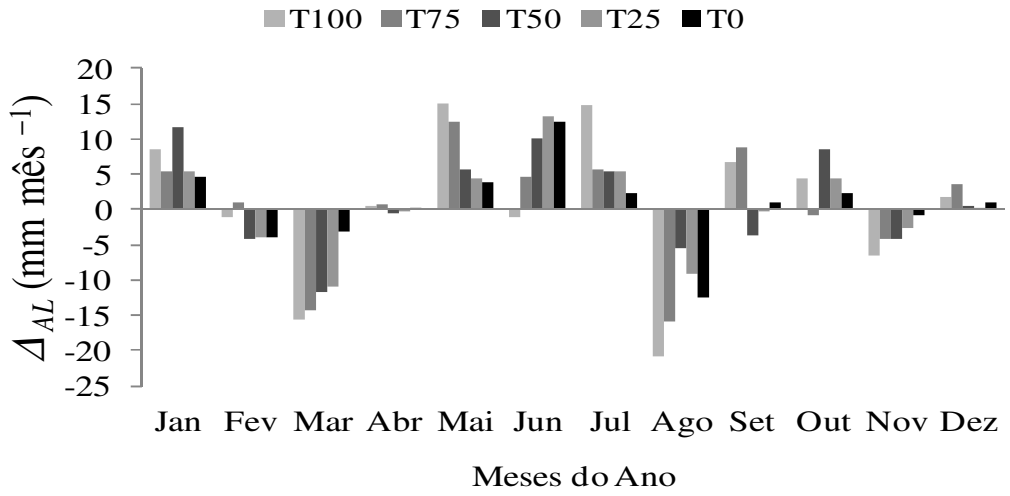


Figura 2.5 – Variação do armazenamento de água do solo nos tratamentos (T100, T75, T50, T25, T0), entre janeiro e dezembro de 2009, na região de Telêmaco Borba-PR.

Nos meses de janeiro, maio, julho e dezembro houve entrada de água no solo nos cinco tratamentos. Porém, como o armazenamento permaneceu alto no período, apenas o tratamento T75 apresentou entrada de água no mês de fevereiro. Ao longo do ano, os tratamentos T50 (12 mm ano^{-1}) e T25 (5 mm ano^{-1}) foram os que registraram maior e menor entrada de água no solo, respectivamente (Figura 2.5).

A drenagem profunda média foi maior no mês de julho (16,8 mm mês^{-1}), seguida por outubro (16,7 mm mês^{-1}) e dezembro (14,3 mm mês^{-1}). O valor total anual da drenagem ficou, em média, em 100,2 mm ano^{-1} (Figura 2.6). Fazendo o balanço hídrico do solo para o citros em Latossolo Vermelho, Cruz et al. (2005) encontraram, em média, drenagem de 72,4 mm ano^{-1} para a região de Piracicaba (SP). Azevedo et al. (2003) também encontrou valores próximos do presente trabalho, sendo 99,5 mm ano^{-1}, em média, em Latossolo cultivado com manga na região de Petrolina, PE.

Nos meses de julho, setembro, outubro e dezembro, ocorreram os valores mais elevados de precipitação pluvial (Tabela 2.1), tendo drenagem de 16,8, 16,7, 14,3 e 6,7 mm mês^{-1}, respectivamente (Figura 2.6). Os Latossolos são caracterizados por apresentarem alta capacidade de infiltração e serem bem drenados naturalmente (EMBRAPA, 2006).

O tratamento que apresentou a maior drenagem profunda ao longo do ano foi T75 (166,8 mm ano^{-1}), seguido pelo T100 (160,3 mm ano^{-1}) e T0 (116,3 mm ano^{-1}). Nos tratamentos T25 e T50 ocorreram os menores valores de drenagem profunda, sendo o valor total de 9,6 e 47,9 mm ano^{-1}, respectivamente. Provavelmente, T50 e T25 apresentaram menores valores de drenagem profunda devido à maior demanda evapotranspirativa. Com a

maior disponibilidade de luz e espaço entre as árvores nos tratamentos, possivelmente, houve maior crescimento das árvores remanescentes e aumento do diâmetro de copa das árvores. O tratamento T0 apresentou elevado valor de drenagem profunda, possivelmente devido à maior entrada de água no solo (15% a mais de que os demais tratamentos), pois com a ausência das árvores, não houve interceptação da precipitação pelas folhas e troncos.

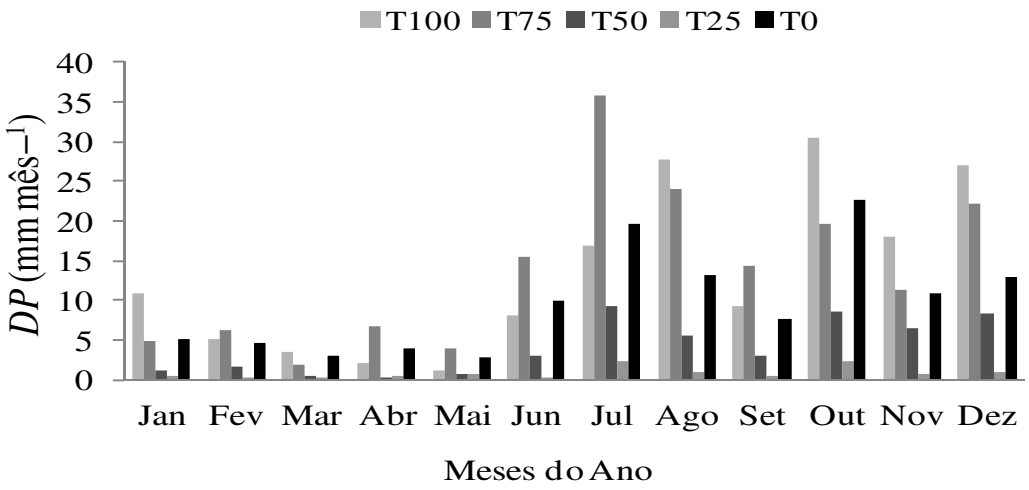


Figura 2.6 – Estimativa da drenagem profunda (*DP*) com a equação de Darcy-Buckingham nos tratamentos (T100, T75, T50, T25, T0), entre janeiro e dezembro de 2009, na região de Telêmaco Borba-PR.

O tratamento T0 (sem cobertura – corte raso) apresentou a maior evapotranspiração real (*ER*) ao longo do ano (1542,4 mm ano^{-1}) (Figura 2.7). Como na área do tratamento T0 foram realizadas capinas para evitar o crescimento de plantas daninhas, acredita-se que o alto valor da *ER* ocorreu devido, provavelmente, ao fato dos troncos e raízes não terem sido retirados da área experimental. Assim, com o apodrecimento dos mesmos canais de infiltração foram formados ocasionando o escoamento da água das precipitações para fora do volume de controle experimental. Dessa forma, como parte da lâmina de água precipitada não pode ser computada como drenagem profunda com a equação de Darcy-Buckingham, pois não ficou armazenada no solo do volume de controle experimental, acabou sendo computada como *ER* no balanço hídrico.

O menor número de árvores por área não promoveu menor evapotranspiração real (*ER*) nos tratamentos T25 (1458,8 mm ano^{-1}) e T50 (1408,7 mm ano^{-1}), que apresentaram maior demanda que os tratamentos T100 (1225,5 mm ano^{-1}) e T75 (1305,8 mm ano^{-1}) (Figura 2.7). Resultados semelhantes foram relatados por Van Dijk & Keenan (2007), que encontraram maior demanda evapotranspirativa em uma floresta de pinus após a realização de

desbastes. Essa constatação deve-se ao maior crescimento das árvores remanescentes, especialmente o índice de área foliar (IAF), com a maior disponibilidade de luz e espaço entre as árvores.

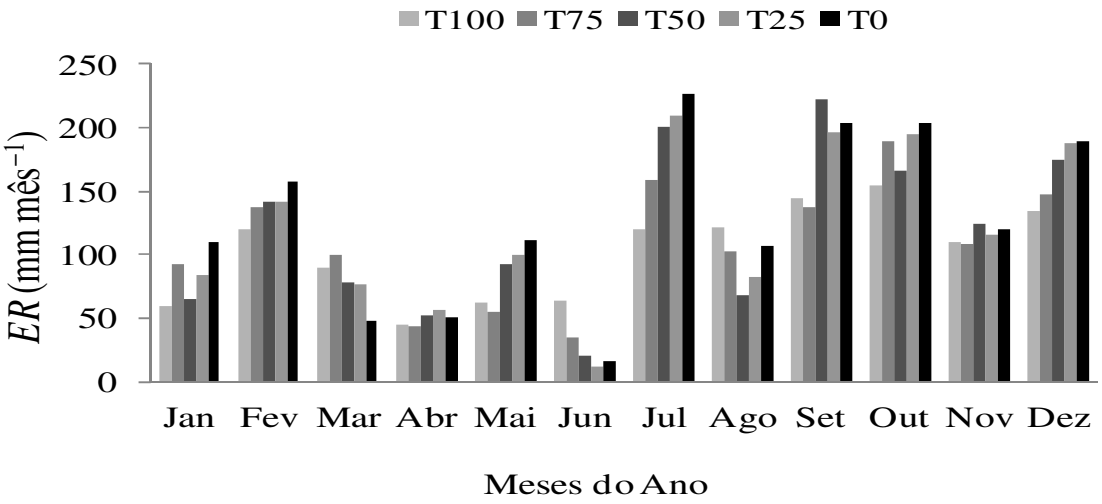


Figura 2.7 – Evapotranspiração real (*ER*) verificada nos tratamento (T100, T75, T50, T25, T0), entre janeiro e dezembro de 2009, na região de Telêmaco Borba-PR.

Soares et al. (1997) fazendo o balanço hídrico para espécies arbóreas verificaram que a condutância estomática e o potencial hídrico foliar diminuíram quando a quantidade de água do solo foi reduzida e, consequentemente, a transpiração também. Por outro lado, em condições de alta disponibilidade de água no solo e de radiação líquida, aparentemente o controle estomático não foi exercido, ou seja, a planta se auto-regulou conforme a disponibilidade hídrica. Esse fato pode explicar o aumento da evapotranspiração real nos meses em que ocorreram maior precipitação ao longo do ano (Figura 2.7), concordando com Trinidad et al. (2002), que relata que a espécie *Pinus taeda* apresenta altas taxas de transpiração quando a umidade do solo se encontra próxima à capacidade de campo. A maior demanda evapotranspirativa também ocorreu a partir do mês de setembro, devido, provavelmente, à retomada de crescimento do *Pinus taeda*.

O valor médio da *ER* ocorrida nos tratamentos foi de 1388 mm ano^{-1}, média de 3,8 mm dia^{-1}. Estudos realizado com *Pinus taeda* nos Estados Unidos (Ford et al., 2007; Lu et al., 2003), em clima semelhante ao Sul do Brasil, relatam valores de mesma magnitude aos encontrados no presente trabalho.

2.4 CONCLUSÕES

A precipitação mensurada na área varia entre os tratamentos, sendo que a lâmina de água coletada diminuiu da menor para a maior densidade de povoamento.

Em média, nenhum tratamento atingiu ao longo do ano os armazenamentos na capacidade de campo ou ponto de murcha permanente.

O valor da drenagem profunda média é maior nos meses com maior precipitação, sendo o valor total anual médio de 100,2 mm. Os maiores valores de drenagem profunda ao longo do ano ocorrem nos tratamentos T100 e T75.

A menor densidade de povoamento proporcionou maior evapotranspitação real, devido ao crescimento de árvores remanescentes de *Pinus taeda*. O valor médio da *ER* ocorrida nos tratamentos foi de 1388 mm ano^{-1}, média de 3,8 mm dia^{-1}. Nos meses com maior precipitação pluviométrica ocorrem os maiores valores de evopatranspiração. A maior demanda evapotranspirativa ocorreu a partir do mês de setembro, devido à retomada de crescimento do *Pinus taeda*.

2.5 LITERATURA CITADA

ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; DALL'OLIO, A. & SALCEDO, I. H. Balanço hídrico em solo com cultivo de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4:29-34, 2000.

ARAUJO, M. A. & SOUZA, J. L. M. Estimativa da evapotranspiração de referência com o método de Penman-Monteith.Versão 1.0. Curitiba: DSEA/SCA/UFPR, 2008 (Programa computacional).

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. & SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. Agricultural Water Management, 58:241-254, 2003.

CAVIGLIONE, J. H; KIIHL, L. R. B. ; CARAMORI, P. H & OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina, IAPAR, 2000. Disponível em http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677 Acesso em 18 Jan. 2012.

CHOW, V. T. Handbook of applied hidrology. A compendium of water-resources technology. New York: McGraw-Hill Book Company, 1964. 1496p.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A. & ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 29:1-10, 2005.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K. & BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). Scientia Agricola, 57: 191-192, 2001.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1997.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

FORD, C. R., HUBBARD, R. M., KLOEPPEL, B. D. & VOSE, J. M. A comparison of sap fluxbased evapotranspiration estimates with catchment-scale water balance. Agricultural and Forest Meteorology 145:176–185, 2007.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, J. L. M. & ZOCOLER, J. L. Planejamento da irrigação: análise de decisão de investimento. Brasília: EMBRAPA, 2005. 627p.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S. & MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. Revista Árvore, 30:603-612, 2006.

LIMA, W. P.; MOREIRA, R. M.; SCARDUA, F. P. & MASETTO, A. V. The hydrology of a small catchment covered with 50-year old eucalyptus plantation in the Itatinga forest experimental station, State of São Paulo. Scientia Forestalis, 50:11-19, 1996.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S. & LIRA, C. A. B. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 1:89-95, 2006.

LU, J., SUN, G., AMATYA, D. M. & MCNULTY, S. G. Modeling actual evapotranspiration from forested watersheds across the Southeastern United States. Journal of American Water Resources Association 39:887–896, 2003.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research, 12:513-522, 1976.

MYERS, B. J. & TALSMA, T. Site water balance and tree water status in irrigated and fertilized stands of *Pinus radiata*. Forest Ecology andManagement, 52:17-42, 1992.

NUNES, J. S. N.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; FIER, I. S. N. & SANTOS, C. C. Climatologia do comportamento da precipitação no distrito florestal de Monte Alegre, PR, Brasil Revista Floresta 39:783-792, 2009

PACHECHENIK, P. E. Demanda hídrica em plantio de pinus e em uma floresta nativa, na região de Telêmaco Borba.Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010. 111p. (Tese Doutorado)

REICHARDT, K. & TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP: Manole, 2004. 478 p.

SERENGIL, Y.; GOKBULAK, F.; OZHAN, S.; HYZAL, A.; SENGONUL, K.; BALC, A. & OZYUVACI, N. Hydrological impacts of a slight thinning treatment in a deciduous forest ecosystem in Turkey. Journal of Hidrology, 333:569-577, 2007.

SOARES, J. V.; ALMEIDA A. C. & PENCHEL R. M. Balanço hídrico de plantações deeucalipto a partir da estimativa de transpiração pelo método de Penman-Monteith. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997,

Salvador. Anais. Salvador, International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), 1997. p. 52-61.

SOUZA, J. L. M. Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2001. 253p. (Tese Doutorado)

SOUZA, J. L. M. & GOMES, S. Avaliação e desempenho das equações de estimativa do armazenamento de água no solo em um balanço hídrico climatológico decendial irrigacionista. Acta Scientiarum Agronomy, 29:433-446, 2007.

TRINIDAD, T. M.; HERNÁNDEZ, J. V.; OROZCO, A. M. & UPTON, J. L. Respuesta al déficit hídrico em *Pinus leiophylla*: consumo de água y crecimento em plântulas de diferentes poblaciones. Agrociencia, 36:365-376, 2002.

TUNDIZI, J. G. Limnologia e Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. Revista Ciência e Ambiente, 21:9-20, 2000.

UNESCO. Guia metodológico para la elaboración del balance hídrico de América del Sul. 1982. 130p.

VAN DIJK, A. I. J. M. & KEENAN. R. J. Planted forests and water in perspective. Forest Ecology an Management, 251:1-9, 2007.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Science Society America Journal, 44:892-898, 1980.

CAPÍTULO 3 – ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E BALANÇO HÍDRICO PARA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, SOB LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, EM TELÊMACO BORBA, ESTADO DO PARANÁ

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho caracterizar os atributos físico-hídricos e quantificar as componentes hídricas de um balanço hídrico, realizado em uma Floresta Ombrófila Mista sobre Latossolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná. O experimento foi instalado na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, sendo escolhida uma área com mata nativa em estado avançado de regeneração. Foram caracterizados os seguintes atributos físico-hídricos do solo: massa específica, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção da água, porosidade de aeração e capacidade de água disponível (*CAD*). As amostras indeformadas foram coletadas em uma trincheira, em cinco profundidades. As amostras deformadas foram retiradas semanalmente, em oito pontos dentro da área experimental, em cinco profundidades. Os valores de umidades do solo e precipitação interna foram coletados e registrados semanalmente ao longo do ano. O armazenamento de água no solo foi calculado empregando a regra do trapézio. A drenagem profunda e ascensão capilar foram estimadas com a equação de Darcy-Buckingham. Os valores de massa específica, micro, macro e porosidade total do solo obtidos no experimento ficaram contidos nas faixas consideradas adequadas para solos de textura arenosa. O solo apresentou alta condutividade hidráulica, característica de solos bem drenados. Em média, nenhum tratamento atingiu o armazenamento no ponto de murcha permanente ao longo do ano. A drenagem profunda média foi maior nos meses com maior precipitação, sendo o valor total anual médio de 94,9 mm ano^{-1}. O valor médio da evapotranspiração real ocorrida nos tratamentos foi de 1355,9 mm ano^{-1}, média de 3,7 mm dia^{-1}.

Palavras-chave: Floresta nativa, relações hídricas, evapotranspiração.

CHAPTER 3 – PHYSICAL AND HYDRIC ATTRIBUTES AND THE WATER BALANCE FOR THE NATIVE OMBROPHYLOUS FOREST, UNDER RED-YELLOW LATOSOL (OXISOL), IN TELEMACO BORBA, STATE OF PARANA

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the physical and hydric attributes and quantify the hydric components of a water balance, performed in a native ombrophylous forest, under red-yellow Latosol (OXISOL), with a sandy texture, in Telemaco Borba, Paraná. The experiment was held at the Monte Alegre Farm, which belongs to the company Klabin Florestal, the chosen area being a native forest in an advanced state of regeneration. The experimental design was performed in random blocks, with four replicates. The following physical and hydric attributes were characterized: specific mass, saturated hydraulic conductivity, water's retention curve, aeration porosity and available water capacity (*AWC*). The desturbed samples were collected in a trench, in five different depths. The disturbed samples, however, were collected weekly, in eight different points inside the experiment area, in five different depths. The values of soil moisture and internal precipitation were collected and registered throughout the year. The water storage in the soil was calculated using the trapezoidal rule. The deep drainage and capillary ascent were estimated by using the Darcy-Buckingham equation. The values of the specific mass, micro, macro and total porosity of the soil obtained in the experiment are inside zones considered adequate for soils with sandy texture. The soil presented a high hydraulic conductivity, which is a characteristic of well drained soils. In average, none of the treatments reached the storage at the permanent wilting point throughout the year. The average deep drainage was bigger throughout the months with more precipitation, the value being an average of 94.9 mm per year^{-1}. The average value of the real evapotranspiration occurred in the treatments was 1355.9 mm per year^{-1}, an average of 3.7 mm a day^{-1}.

Keywords: Native forest; hydric relations; evapotranspiration.

3.1 INTRODUÇÃO

A grande concentração da Floresta Ombrófila Mista está localizada sobre o Planalto Meridional do Brasil, nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Uma pequena parte avança para o interior da província de Misiones, na Argentina. Para o leste, limita-se aproximadamente pelo divisor de águas das Serras do Mar e Geral (Aubréville, 1949; Hueck, 1972). Neste amplo território, no entanto, entremeiam-se grandes extensões de campo (Rambo, 1942), resultando em uma paisagem típica do Sul do Brasil.

A grande concentração da Floresta Ombrófila Mista está delimitada por precipitações pluviométricas entre 1400 e 2200 mm ano^{-1}, distribuídas sem ocorrência de estação seca. As temperaturas médias mensais são inferiores a 18 ^{o}C no período do solstício de verão e inferiores a 15^{o}C no período do solstício de inverno. A média das temperaturas mínimas é inferior a 10 ^{o}C e as mínimas absolutas variam de –2,1 ^{o}C a –10 ^{o}C (Backes, 1999).

Estudos envolvendo o levantamento dos atributos físicos-hídricos, bem como as relações hídricas em Floresta Ombrófila Mista são raros. Existem poucos trabalhos realizados nos Estados do Rio Grande do Sul (Cestaro, 1988) e Paraná (Seitz, 1976), o que é limitante, pois esses dados são úteis para uma série de atividades, inclusive comparação com sistemas agrícolas.

A introdução de sistemas agrícolas em substituição às florestas causa um desequilíbrio no ecossistema, modificando as propriedades do solo, cuja intensidade varia com a natureza do solo e com as condições de clima, uso e manejo adotados (Godefroy & Jacquin, 1975). O uso intensivo dos solos geralmente promove a deterioração de suas propriedades físicas (Coote & Ramsey, 1983). Modificações na massa específica e porosidade do solo também podem variar consideravelmente, dependendo da textura e teores de matéria orgânica do solo (Curtis & Post, 1964) e da freqüência de cultivo (Hajabbasi et al., 1997).

A qualidade física do solo para o crescimento das plantas é determinada não só pela disponibilidade de água, aeração e temperatura, mas também pela resistência que a matriz do solo oferece à penetração das raízes (Hamblin, 1985; Letey, 1985). Em um solo degradado, além da redução da quantidade de água disponível, a taxa de difusão de oxigênio e a resistência do solo à penetração podem limitar o crescimento das plantas na faixa de potenciais que determina a disponibilidade de água no solo.

Os remanescentes florestais são elementos importantes na paisagem, pois desempenham relevante função ambiental, protegendo o solo e cursos de água. Sendo assim,

avaliar os atributos físico-hídricos do solo e as relações hídricas é de extrema relevância para se conhecer a dinâmica da Floresta Ombrófila Mista, uma vez que esta apresenta elevada biodiversidade.

Dentro deste contexto, teve-se por objetivo no presente trabalho caracterizar os atributos físico-hídricos e as relações hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob Floresta Ombrófila Mista, na região de Telêmaco Borda, Estado do Paraná.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados de campo foram coletados em um experimento realizado na Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, localizada na região de Telêmaco Borba, Paraná, nas coordenadas 24° 13′ 19” de latitude Sul e 50° 32′ 33” de longitude Oeste e 700 m de altitude. Os dados foram coletados no ano de 2009 (Pachechenik, 2010), em uma área de mata nativa em fase avançada de regeneração (Floresta Ombrófila Mista) (Figura 3.1).

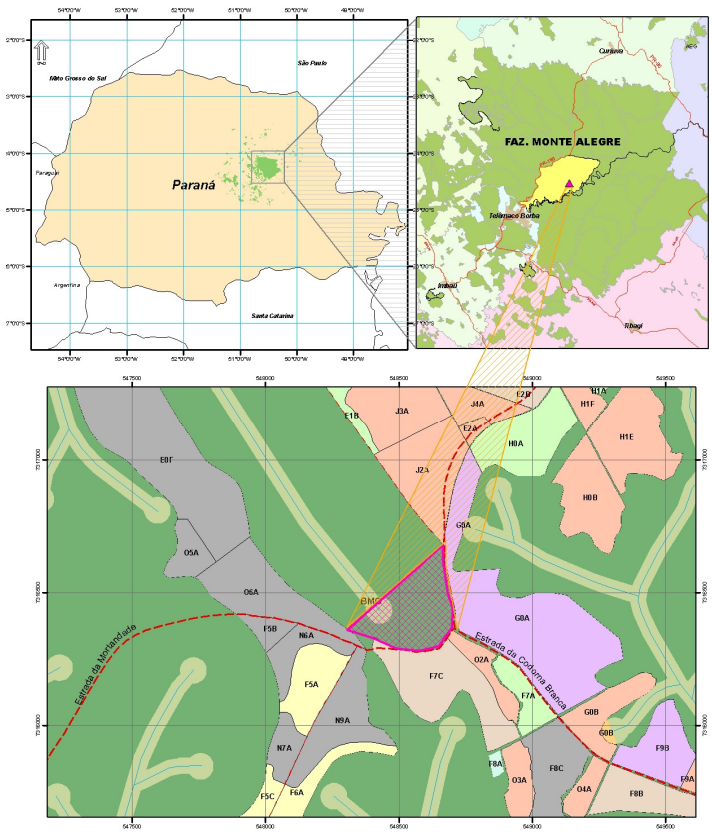


Figura 3.1 – Localização da Fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin Florestal, na região de Telêmaco Borba, contendo a área de mata nativa.

A região está localizada no Segundo Planalto Paranaense e, segundo a classificação de Koppen, apresenta clima tipo Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito, com temperatura média no mês mais frio inferior a 16°C, ocorrência de geadas e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, tendo verões quentes (Caviglione et al., 2000).

O solo do experimento contendo mata nativa foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). Para a realização do trabalho adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições.

3.2.2 Atributos físico-hídricos do solo

As amostras indeformadas foram coletadas em outubro de 2009, em uma trincheira escavada na área, contendo 1,8 m de profundidade, 1,5 m de largura e 3 m de comprimento (Figura 3.2). As amostras foram retiradas com auxílio de anéis volumétricos (volume igual a 49,88 cm^3), nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-1,0 m, com três repetições em cada profundidade.

Figura 3.2 – Trincheira onde foram coletadas as amostras indeformadas de solo, localizada na região de Telêmaco Borba, Paraná.

A determinação dos atributos físico-hídricos do solo com as amostras indeformadas (massa específica, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção da água no solo) foi realizada conforme os procedimentos da EMBRAPA (1997), sendo:

(a) A determinação da massa específica foi realizada com o método do anel volumétrico;

(b) Para a determinação das tensões e conseqüentemente da curva de retenção da água do solo, as amostras foram previamente saturadas em laboratório e submetidas ao processo de secagem com tensões de 0,006; 0,01; 1,0 e 1,5 MPa, sendo utilizadas para esse processo a mesa de tensão e câmara de Richards. Considerou-se como capacidade de campo (θcc) e ponto de murchamento permanentes (θ_{PMP}) os valores de umidade obtidos nas tensões de 0,006 MPa e 1,5 MPa, respectivamente. A porosidade total foi considerada igual à umidade volumétrica do solo na saturação (θ_s). Os valores de microporosidade do solo foram considerados iguais aos valores de θcc. Os valores de macroporos das amostras foram obtidos fazendo a diferença entre aθ_s e a θcc (Araujo et al., 2004);

(c) A condutividade hidráulica saturada foi determinada com o método do permeâmetro de carga constante, conforme EMBRAPA (1997).

As amostras deformadas foram retiradas semanalmente entre os dias 08 de janeiro e 30 de dezembro de 2009, com o auxílio do trado holandês, em oito pontos dentro da área experimental, nas profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-1,0 m. Os atributos físico-hídricos do solo com amostras deformadas (umidade gravimétrica,) foram determinados conforme os procedimentos da EMBRAPA (1997).

No laboratório as amostras passaram por determinações de massa do solo úmido e seco, após 24 h, em estufa a 105 ^{o}C (EMBRAPA, 1997).

A umidade gravimétrica do solo (U) foi obtida com a expressão:

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s}$$

Sendo: U – umidade gravimétrica (kg kg^{-1}); m_u – massa do solo úmido (kg); m_s – massa do solo seco (kg).

Os dados de umidade gravimétrica (U) do solo foram transformados em umidade volumétrica (θ) com a expressão:

$$\theta = \frac{U \cdot \rho_s}{\rho_a}$$

Sendo: θ – umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$); U – umidade gravimétrica ($kg\ kg^{-1}$); ρ_s – massa específica do solo ($kg\ m^{-3}$); ρ_a – massa específica da água ($kg\ m^{-3}$) - considerada igual 1000 $kg\ m^{-3}$.

A porosidade de aeração foi determinada com a expressão:

$$\beta = (\alpha - \theta)$$

Sendo: α – porosidade total ($m^3\ m^{-3}$); β – porosidade de aeração ($m^3\ m^{-3}$); θ – umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$).

3.2.3 Ajuste da curva de retenção de água no solo

Os valores de umidade e tensão da água do solo, obtidos para cada profundidade, foram ajustados com o modelo proposto por Van Genuchten (1980), sendo utilizado o programa *Soil Water Retencion Curve*, desenvolvido por Dourado Neto et al. (2001).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left(1 + (\alpha \cdot \psi_m)^n\right)^b}$$

Sendo: θ – umidade volumétrica ($m^3\ m^{-3}$); θ_r – umidade volumétrica residual ($m^3\ m^{-3}$); θ_s – umidade volumétrica na saturação ($m^3\ m^{-3}$), ψ_m – potencial matricial da água no solo (hPa); α – parâmetro empírico de ajuste da curva de retenção (hPa^{-1}), n e m – parâmetros empíricos de ajustes (adimensionais).

3.2.4 Determinação da condutividade hidráulica não saturada $K(\theta)$

A estimativa dos valores de condutividade hidráulica não saturada $K(\theta)$ foi realizada com a equação de Mualem (1976) e com os parâmetros de regressão obtidos com o modelo de Van Genutchen (1980).

$$K(\theta) = K_0 \cdot \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^{\ell} \left[1 - \left(1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^{\frac{1}{m}}\right)^m\right]^2$$

Sendo: $K(\theta)$ – condutividade hidráulica não saturada do solo (mm dia^{-1}); K_0 – condutividade hidráulica do solo saturado (mm dia^{-1}); ℓ– parâmetro empírico estimado por Mualem (1976) como sendo aproximadamente igual a 0,5; m – parâmetros de ajuste da equação de Van Genutchen (1980) (adimensional); θ – umidade volumétrica (m^3 m^{-3}); θ_r – umidade volumétrica residual (m^3 m^{-3}); θ_s – umidade volumétrica na saturação (m^3 m^{-3}).

3.2.5 Capacidade de água disponível (*CAD*)

Para o cálculo da capacidade de água disponível foi utilizada a expressão:

$$CAD = \sum_{i=i}^{n} (\theta_{CC\,i} - \theta_{PMP\,i}) \cdot z_i$$

Sendo: CAD – capacidade de água disponível no solo (mm); θ_{CCi} – umidade volumétrica do solo na capacidade de campo, na i-ésima profundidade (m^3 m^{-3}); θ_{PMPi} – umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente, na i-ésima profundidade (m^3 m^{-3}); z_i – i-ésima profundidade do solo (mm); n– número de camadas no perfil de solo considerado.

3.2.6 Balanço hídrico do solo

A evapotranspiração real (*ER*) foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$ER = -\Delta A_L + P - D + AC$$

Sendo: ER – evapotranspitação real (mm período^{-1}); ΔA_L – variação do armazenamento de água no solo (mm período^{-1}); P – precipitação pluviométrica (mm período^{-1}); D – drenagem profunda (mm período^{-1}); AC – ascensão capilar (mm período^{-1}).

O armazenamento de água no solo (A_L) foi calculado empregando a regra do trapézio:

$$A_{Lj} = \theta_1 \cdot z_1 + \sum_{i=1}^{n} \frac{(\theta_i + \theta_{i+1}) \cdot z_i}{2}$$

Sendo: A_{Lj} – armazenamento da água no solo na j-ésima semana do ano (mm); θ_i – umidade volumétrica na i-ésima profundidade do solo (cm^3 cm^{-3}); z_i – profundidade do solo (mm); j – semanas ao longo do ano em que as amostras foram retiradas (52 semanas); i– profundidade de coleta das amostras, sendo: 1: 0-0,1, 2: 0,1-0,2, 3: 0,2-0,4, 4: 0,4-0,6, 5: 0,6-1,0 m.

Os valores de precipitação pluvial (P – mm dia^{-1}) foram medidos com pluviômetros instalados dentro e fora da unidade experimental, sendo oito pluviômetros de acrílico, capacidade de 40 mm, marca Incotherm.

As componentes drenagem profunda (D) e ascensão capilar (AC) foram estimadas por meio do fluxo de água no solo (q_z), utilizando a equação de Darcy-Buckingham:

$$q_z = -K(\theta)\frac{\partial H}{\partial z}$$

Sendo: q_z – fluxo de água no solo para a profundidade considerada (mm dia^{-1}); $K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo (mm dia^{-1}); $\partial H / \partial z$ – gradiente de potencial total (m m^{-1}); z – profundidade (m).

3.2.7 Procedimentos Estatísticos

Os dados dos atributos físicos do solo foram organizados, agrupados e analisados em planilha eletrônica. Realizou-se análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (5%) de comparação de médias.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Atributos físicos do solo

Os valores de massa específica do solo obtidos no experimento (Tabela 3.1) ficaram entre 1033 a 1422 kg m^{-3}, sendo que das cinco camadas avaliadas, apenas a camada de 0,6-1,0 m ficou dentro da faixa mencionada por Reichardt & Timm (2004) para solos de textura arenosa, que varia de 1400 a 1800 kg m^{-3}. Os menores valores ocorreram na camada de 0,0-0,1 m, provavelmente devido à maior quantidade de raízes (Brun, 2008), aumentando a porosidade total e diminuindo a massa específica do solo. Observou-se aumento da massa específica do solo com o aumento da profundidade, o que evidenciou que o solo encontra-se bem conservado e sem compactação (Kiehl,1979). Dedecek et al. (2008) comentam que a maior massa específica em profundidade ocorre devido ao peso do solo das camadas superiores.

Tabela 3.1. Massa específica do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata nativa (Floresta Ombrófila Mista), em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Profundidade	ρ_s [1]	Macroporo	Microporo	α [2]	K_0 [3]
(m)	(kg m^{-3})	----------	(m^3 m^{-3})	----------	(mm dia $^{-1}$)
0-0,1	1033 c	0,394 a	0,231 c	0,625 a	24356,3
0,1-0,2	1190 bc	0,307 b	0,265 b	0,572 b	11654,1
0,2-0,4	1243 abc	0,260 b	0,261 b	0,521 c	9568,5
0,4-0,6	1322 ab	0,259 b	0,238 bc	0,498 cd	7495,5
0,6-1,0	1425 a	0,162b c	0,302 a	0,463 d	2761,2
CV (%)[4]	11,82	30,50	10,75	11,88	72,32

[1]Massa específica do solo; [2]Porosidade total; [3]Condutividade hidráulica saturada do solo; [4]Coeficiente de variação.** Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05*)*.

A macroporosidade do solo estudado variou de 0,162 a 0,394 m^3 m^{-3}(Tabela 3.1), sendo que os maiores valores foram encontrados nas camadas superficiais, devido a maior atividade da fauna edáfica e quantidade e diversidade de raízes. A microporosidade variou de 0,231 a 0,302 m^3 m^{-3} (Tabela 3.1), apresentando maiores valores com o aumento da profundidade. Em solos com textura arenosa há tendência dos valores de macroporosidade serem maiores que de microporosidade. Logo, o solo estudado apresentou tendência conforme observado por Kiehl (1979) e Reichardt & Timm (2004).

A porosidade total corresponde ao espaço disponível para a presença de gases e líquidos no solo. No solo estudado verificaram-se valores de porosidade total entre 46,3 e 62,5% (Tabela 3.1), sendo que das cinco camadas estudadas, apenas três (0,2-0,4, 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m) se enquadram na faixa considerada adequada por Kiehl (1979). Para Silva et al. (2005), a maior porosidade total na superfície em relação a subsuperfície deve-se aos ciclos sucessivos de umedecimento e secagem que ocorrem na superfície do solo, aliado à melhoria pela maior atividade biológica e acúmulo de matéria orgânica.

O solo estudado apresentou alta condutividade hidráulica saturada (K_0) (Tabela 3.1), provavelmente devido à alta porosidade. Houve tendência à redução da K_0 com o aumentou da profundidade do perfil, o que também foi evidenciado por Silva et al. (2008), Dalbianco (2009) e Mori (2009). Nas camadas superficiais, a maior permeabilidade em superfície geralmente está relacionada com a maior quantidade de matéria orgânica (Cavichiolo, 2005).

De forma geral, a profundidade de 0-0,1 m sempre apresentou os maiores valores médios de porosidade de aeração (β) ao longo do ano (Figura 3.3), assim como as

profundidades de 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m apresentaram os menores valores ao longo do ano. A maior porosidade de aeração nas camadas superficiais justifica-se pela presença do sistema radicular das plantas, proporcionando maior aeração à estruturação ao solo. As profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m apresentaram valores médios de β muito próximos (Figura 3.3 e Tabela 3.2). Alguns períodos do ano apresentaram valores de porosidade de aeração abaixo do ideal (Figura 3.3), conforme considerado por Reichardt & Timm (2004) (0,25 m^3 m^{-3}), principalmente nos meses de julho a setembro. No entanto, os limites ideais não estão bem definidos na literatura. Erickson (1982) considera necessário no mínimo 0,10 m^3 m^{-3} de poros de aeração para a maioria das plantas. Valores abaixo de 0,10 m^3 m^{-3} não foram atingidos no período de estudo, indicando que, provavelmente, as plantas nativas não sofreram limitações quanto à aeração, mas ficou próxima, principalmente nos meses que mais choveram no ano estudado.

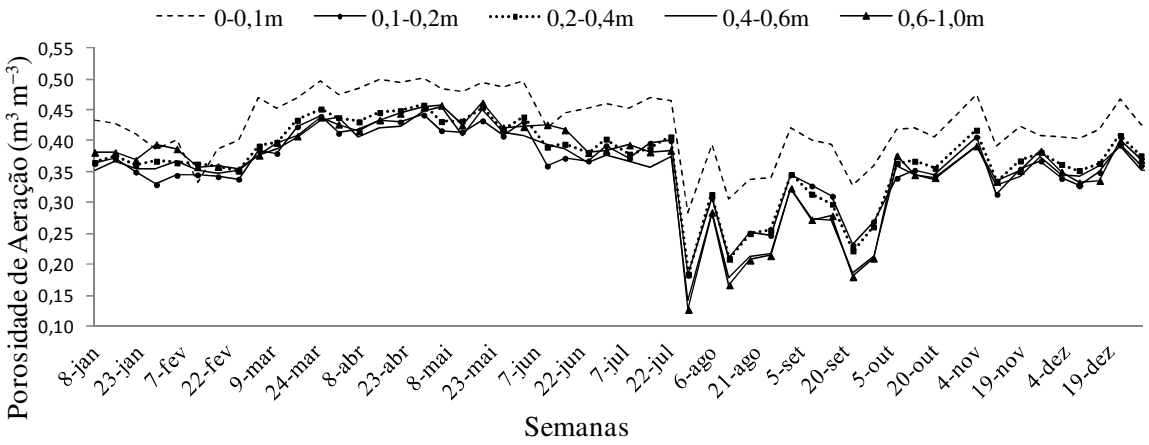


Figura 3.3. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho-Amarelo, ao longo do ano, sob mata nativa (Floresta Ombrófila Mista), nas profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m.

A média da porosidade de aeração (β) nas estações do ano variou entre 0,287 (profundidade 0,4-0,6 m; inverno) e 0,481 (profundidade de 0-0,1 m; outono) (Tabela 3.2). No ano analisado o outono caracterizou a estação mais seca.

Independentemente da estação do ano a camada que apresentou maior porosidade de aeração foi a 0,1 m, com valores variando de 0,399 a 0,481 m^3 m^{-3} (Figura 3.3), sendo essa a camada com menor massa específica e maior macroporosidade do solo (Tabela 3.1).

Tabela 3.2. Média da porosidade de aeração do solo, nas diferentes estações do ano e profundidades, em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata nativa (Floresta Ombrófila Mista), em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Profundidade	----- Valor médio da porosidade de aeração do solo nas estações do ano -----			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
(m)	---------- ($m^3\ m^{-3}$) ----------			
0-0,10	0,420 a	0,481 a	0,399 a	0,411 a
0,1-0,20	0,363 c	0,416 c	0,316 b	0,340 bc
0,2-0,40	0,378 bc	0,433 b	0,317 b	0,352 b
0,4-0,60	0,366 bc	0,422 bc	0,287 c	0,331 c
0,6-1,00	0,379 b	0,434 b	0,292 c	0,336 bc
CV(%)*	5,59	5,86	13,98	9,26

*Coeficiente de Variação.** Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey *(p <0,05)*.

O solo da área experimental apresentou baixa capacidade de retenção de água, devido ao baixo teor de argila, característica de solos arenosos. Por isso, também apresentou pouca quantidade de água retida entre a capacidade de campo (0,006 MPa) e ponto de murcha permanente (1,5 MPa) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Umidade volumétrica da capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e parâmetros da equação de Van Genuchten (1980), obtidos do ajustamento da curva com os pontos de retenção de água no solo, amostrado na área contendo mata nativa (Floresta Ombrófila Mista), em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Profundidade	θ_{CC}	θ_{PMP}	$\alpha^{(1)}$	$m^{(1)}$	$n^{(1)}$	$\theta r^{(1,2)}$	$\theta_s^{(1,3)}$
(m)	------ ($m^3\ m^{-3}$) ------		---------- (adimensional) ----------			--------- ($m^3\ m^{-3}$) ---------	
0-0,1	0,231	0,068	1,751	0,169	1,204	0,010	0,625
0,1-0,2	0,265	0,063	0,379	0,175	1,211	0,006	0,572
0,2-0,4	0,261	0,077	0,363	0,169	1,203	0,009	0,521
0,4-0,6	0,238	0,054	0,297	0,191	1,236	0,009	0,498
0,6-1,0	0,302	0,066	0,091	0,202	1,254	0,009	0,463

(1)Parâmetros empíricos da equação de Van Genuchten (1980); (2) Conteúdo residual de água do solo ($m^3\ m^{-3}$); (3)Conteúdo de água na condição de solo saturado ($m^3\ m^{-3}$).

A compactação provoca a redução da porosidade total do solo em decorrência da diminuição dos poros maiores. Portanto, o teor de água na saturação e teores de água retidos à baixas tensões são reduzidos. Deste modo, o traçado das curvas de retenção de água no solo demostrou que o solo estudado está sem sinais de compactação (Figura 3.4).

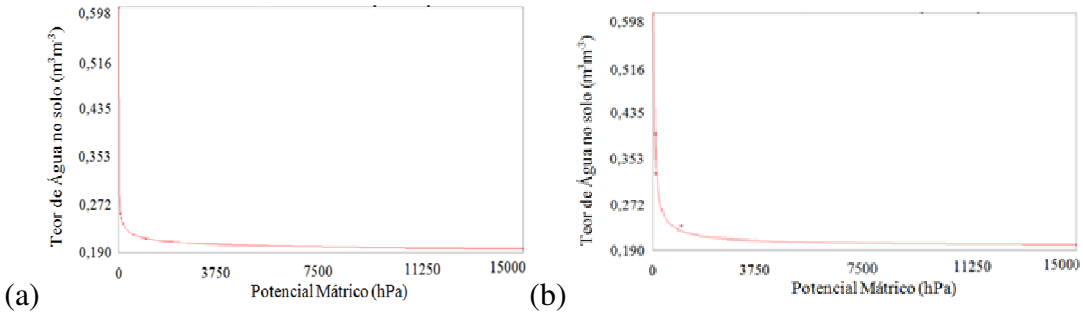


Figura 3.4 – Curva de retenção da água em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata nativa (Floresta Ombrófila Mista), em Telêmaco Borba, Estado do Paraná: (a) camade de 0-0,1 m; e, (b) camada de 0,6-1,0 m.

A partir dos valores de condutividade hidráulica saturada (Tabela 3.1) e dos parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) (Tabela 3.4) foram constituídas as equações da condutividade hidráulica não saturada para o solo em estudo, em função da variavél ω (umidade efetiva), conforme se encontra exemplificado na equação abaixo, para a profundiade de 1,0 m.

$$K(\theta) = K_0 \cdot \omega^{0,5} \cdot \left[1 - \left(1 - \omega^{\frac{1}{0,202}} \right)^{0,202} \right]^2$$

Com as equações para cada profundidade, foram calculados os valores de $K(\theta)$ médio ao longo do ano, para as cinco profundidades analisadas (Figura 3.5).

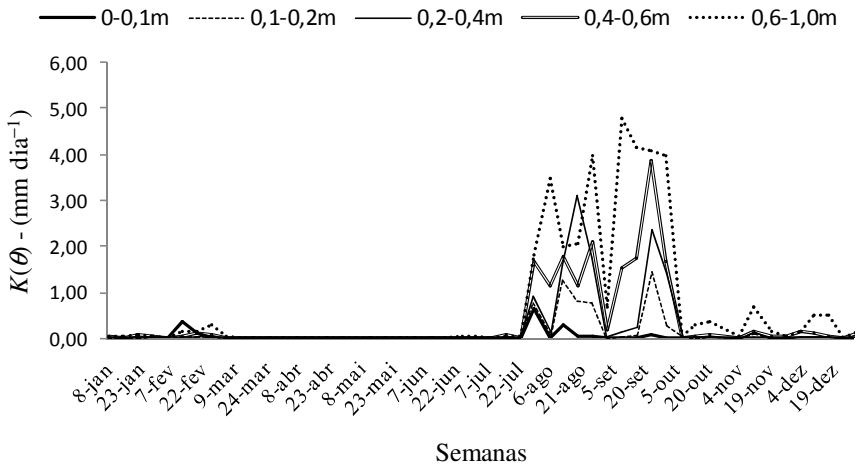


Figura 3.5 – Condutividade hidráulica não saturada $K(\theta)$ média, ao longo do ano, nas profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m, em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata nativa (Floresta Ombrófila Mista), em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

O maior conteúdo volumétrico de água disponível no solo ($\theta_{disp} = \theta_{cc} - \theta_{pmp}$) foi verificada na profundidade de 0,6-1,0 m, em média 0,236 m^3 m^{-3}. Nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m os valores ficaram próximos, sendo em média 0,163; 0,202; 0,184; 0,184 e 0,236 m^3 m^{-3}, respectivamente (Figura 3.6). Os resultados confirmam as considerações de Pachechenik (2010), quando em análise preliminar verificou maior teor de argila na camada de 0,6-1,0 m. A maior quantidade de argila nessa profundidade reflete maior quantidade de microporosidade (Tabela 3.1) e, consequentemente, maior retenção de água na camada.

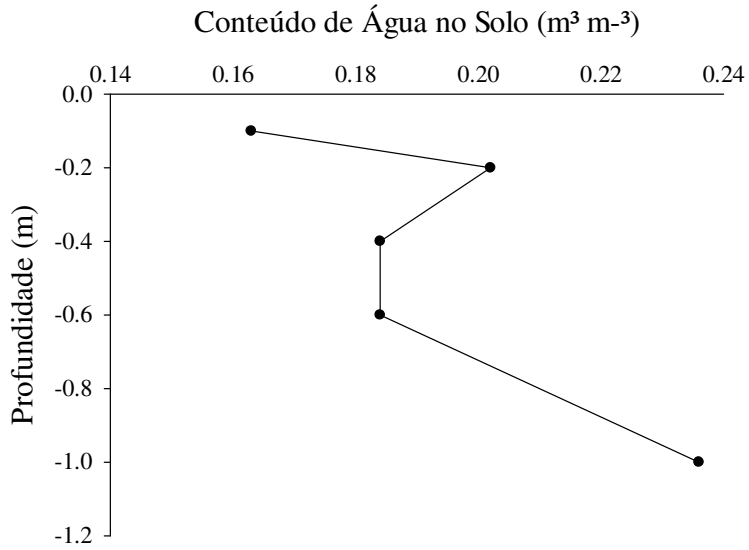


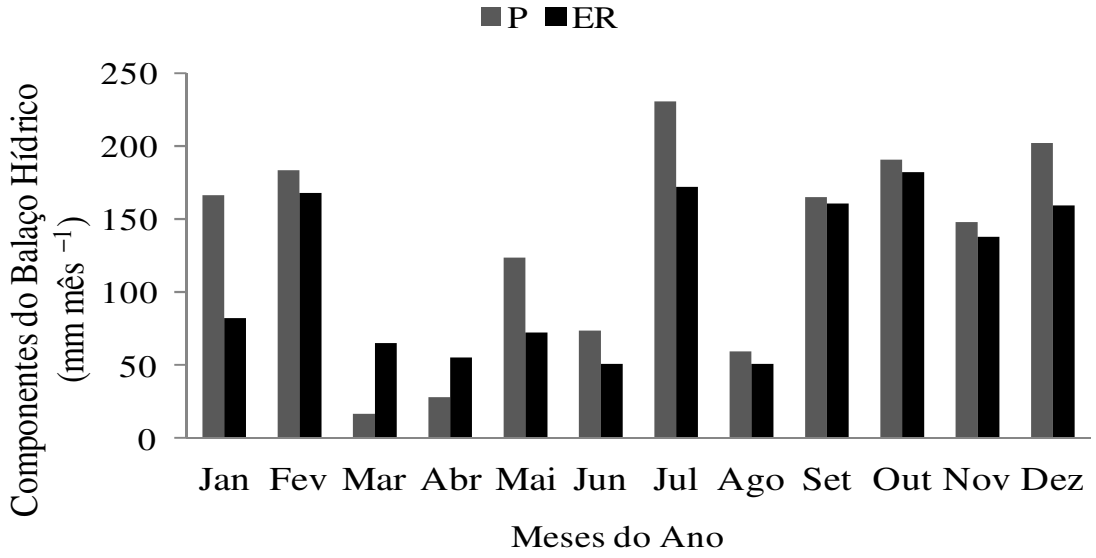
Figura 3.6 – Água disponível no solo ($\theta_{disp} = \theta_{cc} - \theta_{pmp}$), em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob Mata Nativa, em Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Os valores de *CAD* calculados para o solo foram de 16,3; 20,2; 36,8; 36,8 e 94,4 mm, para as camada de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m, respectivamente. Assim, a *CAD* para a camada de 1 m ficou em 204,5 mm. Os valores encontrados estão de acordo com os obtidos em outros trabalhos, contendo Latossolos com texturas arenosa: Cavalcante & Prado (2010) encontraram *CAD* média de 45 mm até 0,40 m de profundidade em Araxá, Minas Gerais; Portugal et al. (2010), em estudo realizado em um Latossolo Vermelho Amarelo na Zona da Mata, Minas Gerais, encontraram *CAD* de 15,2 mm na camada de 0-0,2 m em solo sob mata nativa, 20,6 mm para solo cultivado com Laranja e 31,4 mm para solo contendo pasto.

3.3.2 Balanço hídrico do solo

A precipitação ocorrida na área experimental da Fazenda Monte Alegre durante o período estudado caracterizou-se pela ocorrência de chuvas bem distribuídas (Figura 3.7).

Historicamente janeiro é o mês mais chuvoso na região de Telêmaco Borba – PR, no entanto, verificou-se no experimento que a maior precipitação interna na área de mata nativa ocorreu em julho (231,0 mm), seguida por dezembro (202,0 mm) e outubro (191,0 mm). No primeiro semestre do ano de 2009 o mês que apresentou a maior precipitação foi fevereiro (183,0 mm) e o mês que apresentou menor precipitação foi março (16,0 mm) (Figura 3.7).



Fi

Figura 3.7 – Precipitação (*P*) e evapotranspiração real (*ER*) verificada na área de Floresta Nativa entre janeiro e dezembro de 2009, na região de Telêmaco Borba, Paraná.

O armazenamento de água no solo considerando as umidades na capacidade de campo ficou em torno de 270,2 mm. Ao longo do ano estudado, somente os meses de agosto (312,2 mm mês^{-1}) e setembro (301,5 mm mês^{-1}) ficaram acima do valor de armazenamento de água no solo da capacidade de campo. Os valores de armazenamento de água no solo ficaram acima da capacidade de campo nos meses de agosto e setembro (Figura 3.8) devido, provavelmente, aos dias chuvosos que antecederam as coletas de amostra de solo para analise de umidade. O armazenamento médio considerando as umidades no ponto de murcha permanente ficou em torno de 65,5 mm, e nenhum dos meses do ano atingiu esse armazenamento de água no solo.

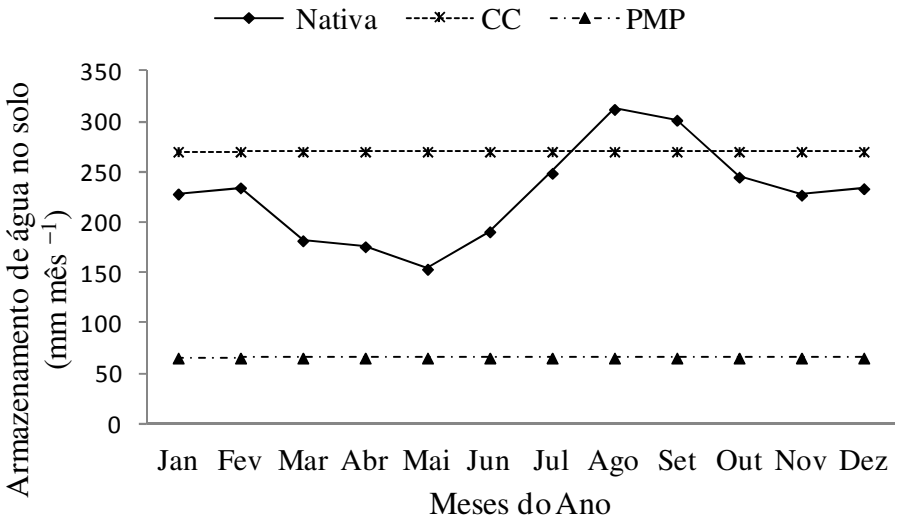


Figura 3.8 – Armazenamento médio mensal de água em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob floresta nativa, ao longo do ano de 2009, em Telêmaco Borba, Paraná.

As variações do armazenamento (Figura 3.9) de água no perfil do solo acompanharam as variações da precipitação, conforme verificado também por Antonino et al. (2000) e Lima et al. (2006). Ocorreram variações positivas nos meses de janeiro, maio, junho, julho e dezembro, tendo média igual a 9,9, 6,1, 15,6, 29,0, 2,9 mm, respectivamente. Os meses de fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro obtiveram variações negativas, em média, −2,1, −20,0, −2,6, −14,6, −1,1, −12,3, −8,8 mm, respectivamente (Figura 3.9).

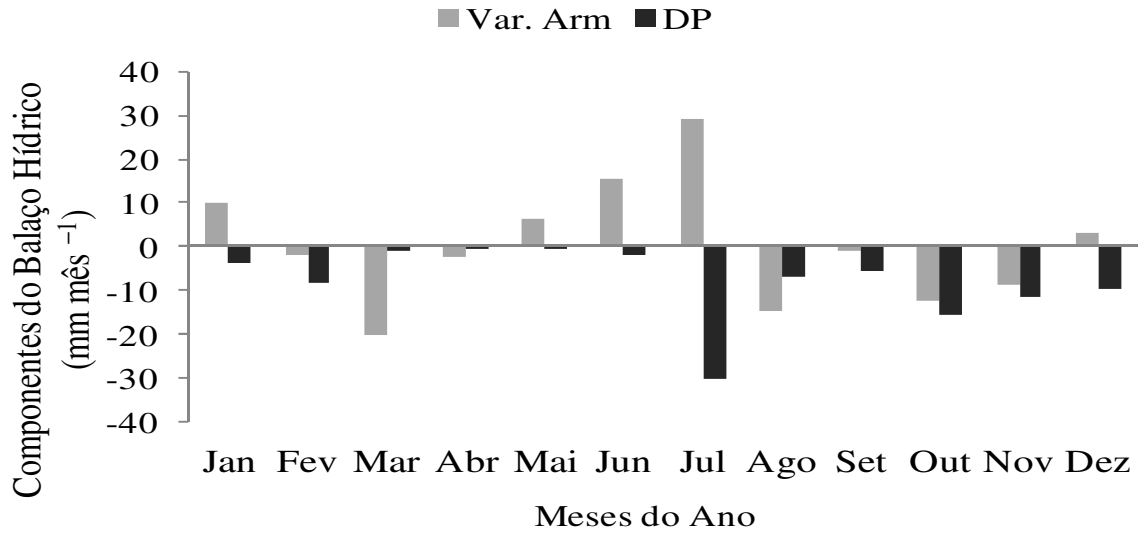


Figura 3.9 – Variação do armazenamento (Δ_{AL}) e drenagem profunda (*DP*) verificada em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob Floresta Nativa, entre janeiro e dezembro de 2009, na região de Telêmaco Borba, Paraná.

A drenagem profunda foi maior em julho (30,6 mm mês^{-1}), seguido por outubro (15,4 mm mês^{-1}), novembro (11,3 mm mês^{-1}). O valor total anual da drenagem profunda ficou, em média, em 94,9 mm ano^{-1} (Figura 3.9).

Nos meses de fevereiro, julho, outubro e dezembro, ocorreram os maiores valores de precipitação pluvial (Figura 3.7), tendo drenagem de 8,5, 30,6, 15,4, 9,6 mm mês^{-1}, respectivamente (Figura 3.9).

Os maiores valores de evapotranspiração real (*ER*) ocorreram nos meses de fevereiro (167,5 mm mês^{-1}), julho (172,2 mm mês^{-1}), setembro (160,4 mm mês^{-1}), outubro (182,2 mm mês^{-1}) e dezembro (159,7 mm mês^{-1}), sendo que, nestes meses, também ocorreram os maiores valores de precipitação pluvial (Figura 3.7). Soares et al. (1997) fazendo o balanço hídrico para espécies arbóreas verificaram que a condutância estomática e o potencial hídrico foliar diminuíram quando a quantidade de água do solo é reduzida e, consequentemente, a transpiração também. Por outro lado, em condições de alta disponibilidade de água no solo e de radiação líquida, aparentemente o controle estomático não é exercido, ou seja, a planta se auto-regula conforme a disponibilidade hídrica. Esse fato pode explicar o aumento da evapotranspiração real nos meses em que ocorreu maior precipitação ao longo do ano (Figura 3.7). O valor total anual de *ER* foi 1355,9 mm ano^{-1}, média de 3,7 mm dia^{-1}.

As considerações dispostas abaixo relacionam alguns resultados obtidos no Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média leve/argila, sob mata nativa com os obtidos com o Latossolo Vermelho A moderado sob o plantio de pinus (Capítulo 1 e 2):

– Das cinco profundidades avaliadas na mata nativa, observou-se que quatro profundidades apresentaram massa específica do solo abaixo da faixa mencionada por Reichardt & Timm (2004) para solos de textura arenosa (Tabela 3.1). Na área de pinus os valores de massa específica ficaram dentro da faixa mencionada por Reichardt & Timm (2004), para solos argilosos (Tabela 1.1);

– A massa específica do Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa) foi menor nas duas primeiras profundidades, o que demonstra que o solo estava bem conservado e sem compactação, conforme mencionam Kiehl (1979), Prevedello (1996) e Reichardt & Timm (2004), o que é esperado para um solo com cobertura florestal. O Latossolo Vermelho (pinus) também apresentou valores de massa específica do solo compatível com o estado de conservação para solos de textura argilosa. Em ambos os solos foi observada a tendência de aumento da massa específica do solo com o aumento da profundidade entre 0 a 1,0 m;

– A porosidade total encontrada nos dois tipo de solos apresentaram valores compatíveis com a massa específica encontrada em cada um dos tipos de solo estudado. Para o Latossolo Vermelho (pinus) o valor de porosidade total ficou entre 53,7 e 59,8% (Tabela 1.1), e no Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa) ela ficou entre 46,3 e 62,5% (Tabela 3.1), dentro do que foi preconizado por Kiehl (1979). Foi observado no Latossolo Vermelho (pinus) a tendência de diminuição de porosidade total nas camadas entre 0 e 0,4 m e aumento desta até 1,0 m. No Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa) a porosidade total teve a tendência decrescente desde a superfície até a camada mais profunda de 1,0 m;

– A microporosidade e macroporosidade além de serem inversamente proporcionais, relacionam-se com a textura do solo. Segundo Kiehl (1979) e Reichardt & Timm (2004), solos de textura argilosa, como o Latossolo Vermelho (pinus), apresentam tendência de maiores valores de microporosidade do que macroporosidade. Solos de textura mais grossa, como o Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa) apresentam tendência contrária, ou seja, menor microporosidade do que macroporosidade (Tabela 1.1 e Tabela 3.1);

– Como os valores de microporosidade (Tabela 3.1) e capacidade de campo (Tabela 3.3) do Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa) foram menores do que os valores do Latossolo Vermelho (pinus) (Tabela 1.1 e Tabela 1.3), a relação destes com os valores de porosidade total resultou em maior valor de macroporosidade e porosidade de aeração para o Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa). Por outro lado, como a umidade na capacidade de campo ficou mais próxima da umidade do ponto de murcha no Latossolo Vermelho-Amarelo, a quantidade de água disponível para floresta nativa foi menor que a do Pinus;

– O armazenamento médio considerando as umidades no ponto de murcha permanente ficou em torno de 65,5 mm para o Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa) e 205,0 mm para Latossolo Vermelho (pinus). Em ambos os solos e coberturas vegetais, em nenhum dos meses do ano estudado atingiu-se esse armazenamento de água no solo;

– As variações do armazenamento de água no perfil do solo, tanto para o Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa) como Latossolo Vermelho (pinus), acompanharam as variações da precipitação;

– A drenagem profunda foi maior em julho, seguido por outubro, para ambos os solos e coberturas vegetais. O valor total anual da drenagem profunda ficou, em média, em 94,9 mm ano^{-1} no Latossolo Vermelho-Amarelo (floresta nativa) e 100,2 mm ano^{-1} no Latossolo Vermelho (pinus). Nos meses em que ocorreram os maiores valores de precipitação pluvial houve maiores valores de drenagem profunda;

– Os maiores valores de evapotranspiração real na floresta nativa e pinus ocorreram nos meses mais chuvusos. Soares et al. (1997) fazendo o balanço hídrico para espécies arbóreas verificaram que a condutância estomática e o potencial hídrico foliar diminuíram quando a quantidade de água do solo é reduzida e, consequentemente, a transpiração também. Por outro lado, em condições de alta disponibilidade de água no solo e de radiação líquida, aparentemente o controle estomático não é exercido, ou seja, a planta se auto-regula conforme a disponibilidade hídrica. Esse fato pode explicar o aumento da evapotranspiração real, em ambas as coberturas vegetais. O valor total anual de *ER* foi 1355,9 mm ano^{-1}, média de 3,7 mm dia^{-1}, para floresta nativa e 1388,0 mm ano^{-1}, média de 3,8 mm dia^{-1}, para área com pinus.

3.4 CONCLUSÕES

Os valores de massa específica, micro, macro e porosidade total do solo obtidos no experimento se enquadraram nas faixas consideradas adequadas para solos de textura arenosa.

O Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta alta condutividade hidráulica (K_0), característica de solos bem drenados, devido à alta porosidade.

A floresta nativa não sofreu limitações quanto à aeração, pois, a valores abaixo do limite crítico não foram atingidos ao longo do ano.

Nenhum dos meses do ano atingiu o armazenamento de água no solo no ponto de murcha permanente.

A drenagem profunda média é maior nos meses com maior precipitação, sendo o valor total anual médio de 94,9 mm ano^{-1}.

O valor médio da *ER* ocorrida foi de 1355,9 mm ano^{-1}, média de 3,7 mm dia^{-1}. Os maiores valores de *ER* ocorrem nos meses mais chuvosos.

3.5 LITERATURA CITADA

ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; DALL'OLIO, A. & SALCEDO, I. H. Balanço hídrico em solo com cultivo de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4:29-34, 2000.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:337-345, 2004.

AUBRÉVILLE, A. A floresta de pinho do Brasil. Anuário Brasileiro de Economia. Florestal, Rio de Janeiro, 2:21-36, 1949.

BACKES, A. Dinâmica do pinheiro brasileiro. Iheringia.Série. Botânica, 30:49-84, 1999.

BRUN, E. J. Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008. 118p. (Tese Doutorado)

CAVALCANTE, E. P.; PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar de Latossolos da região de Araxá – MG. Nucleus, 7:115-124, 2010.

CAVICHIOLO, S. R. Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica em diferentes métodos de preparo do solo em plantio de *Pinus taeda*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. 152p. (Tese Doutorado)

CAVIGLIONE, J. H; KIIHL, L. R. B; CARAMORI, P. H; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina, IAPAR, 2000. Disponível em http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677 Acesso em 18 Jan. 2012.

CESTARO, L.A. Estudo microclimático do interior de uma mata de araucária na Estação Ecológica de Aracuri, Esmeralda, RS. Revista Árvore, Viçosa, 12:41-57,1988.

COOTE, D.R. & RAMSEY, J.F. Quantification of the effects of overs 35 years of intensive cultivation on four soils. Canadian Journal of Soil Science, 63:1-14, 1983.

CURTIS, R.O. & POST, B.W. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils. Soil Science Society of America Proceedings, 28:285-286, 1964.

DALBIANCO, L. Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural. Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 116 p. (Dissertação de Mestrado).

DEDECEK, R. A.; FIER I. S. N.; SPELTZ R.; LIMA, L. C. S. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e química do solo. Revista Floresta, 38:507-416, 2008.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). Scientia Agricola, 57: 191-192, 2001.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1997.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

ERICKSON, A. E. Tillage effects on soil aeration. In. PREDICTING TILLAGE EFFECTS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES, 1982, Madison. Proceedings. American Society of Agronomy, 1982, p.91-104.

GODEFROY, J.& JACQUIN, F. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et le apports organiques en conditions tropicales; comparasion avec les sols forestiers. Fruits, 30:595-612, 1975.

HAJABBASI, M.A.; JALALIAN, A. & KARIMZADEH, H.R. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Plant Soil, 190:301-308, 1997.

HAMBLIN, A.P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. Advances in Agronomy, 38:95-158, 1985.

HUECK, K. As florestas da América do Sul:ecologia, composição e importância econômica. São Paulo: Ed. Polígono S.A. 1972, 466p.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

LETEY,J. Relationship between soil physical properties and crop production. Advences Soil Science, 1:277-294, 1985.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S. & LIRA, C. A. B. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 1:89-95, 2006.

MORI, H.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W.L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejeto líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33: 189-198, 2009.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research, 12:513-522, 1976.

PACHECHENIK, P. E. Demanda hídrica em plantio de pinus e em uma floresta nativa, na região de Telêmaco Borba. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010. 111p. (Tese Doutorado)

PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, Sociedade autônoma de estudos avançados em Física do Solo, 1996. 446 p.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e auímicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata mineira. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34: 575-585, 2010.

RAMBO, B. A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural. Porto Alegre: Imprensa Oficial. 1942, 360p.

REICHARDT, K. e TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP: Manole, 2004. 478 p.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. Ciência Rural, 35:544-552, 2005.

SILVA, G. J.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho Amarelo do cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32: 2135-2143, 2008.

SEITZ, R. A. Estudo da variação da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar no interior de uma mata de *Araucaria angustifolia* em relação ao terreno livre. *Floresta* 7: 36-45, 1976.

SOARES, J. V.; ALMEIDA A. C. & PENCHEL R. M. Balanço hídrico de plantações de eucalipto a partir da estimativa de transpiração pelo método de Penman-Monteith. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. Anais. Salvador, International Union Of Forest Research Organizations (IUFRO), 1997. p. 52-61.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Science Society America Journal, 44:892-898, 1980.

CONCLUSÃO GERAL

Os valores de massa específica, micro, macro e porosidade total do Latossolo Vermelho (pinus) se enquadraram nas faixas consideradas adequadas para solos de textura argilosa. A cultura do pinus não sofreu limitações quanto à aeração, pois, valores abaixo do limite crítico não foram atingidos ao longo do ano. O solo tem grande quantidade de água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, consequentemente apresenta alta capacidade de água disponível, característica de solos argilosos. A precipitação mensurada na área varia entre os tratamentos, sendo que a lâmina de água coletada diminuiu da menor para a maior densidade de povoamento. Em média, nenhum tratamento atingiu ao longo do ano os armazenamentos na capacidade de campo ou ponto de murcha permanente. O valor médio da *ER* ocorrida nos tratamentos foi de 1388 mm ano^{-1}, média de 3,8 mm dia^{-1}. Nos meses com maior precipitação pluviométrica ocorrem os maiores valores de evopatranspiração. A maior demanda evapotranspirativa ocorreu a partir do mês de setembro, devido à retomada de crescimento do *Pinus taeda*.

Os valores de massa específica, micro, macro e porosidade total do LatossoloVermelho-Amarelo (floresta nativa) se enquadraram nas faixas consideradas adequadas para solos de textura arenosa. Os meses de agosto e setembro tiveram armazenamento da água no solo acima do valor de armazenamento de água no solo da capacidade de campo. Nenhum dos meses do ano atingiu o armazenamento de água no solo no ponto de murcha permanente. O valor médio da *ER* ocorrida foi de 1355,9 mm ano^{-1}, média de 3,7 mm dia^{-1}. Os maiores valores de *ER* ocorrem nos meses mais chuvosos.

Apesar das diferenças físicas entre o Latossolo Vermelho (pinus) e o LatossoloVermelho-Amarelo (floresta nativa), em ambas as áreas se verificaram semelhanças no perfil quanto à variação do volume de água armazenada. O teor de água disponível no solo da floresta nativa foi menor do que no solo sob o pinus.

APÊNDICE 1

Tabela A1.1. Estatísticas descritivas das variáveis armazenamento de água no solo, variação do armazenamento de água no solo, drenagem profunda e evapotranspiracão real, nos meses do ano de 2009.

Componente		Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
		(mm mês^{-1})																							
Arm	T100	333,3	a	333,1	a	328,1	a	334,0	a	332,8	a	327,0	b	326,7	b	304,9	b	289,3	b	285,4	b	274,5	b	272,1	b
	T75	328,8	a	329,8	a	332,4	a	332,8	a	334,0	a	328,9	b	325,2	b	309,3	b	295,1	b	292,8	b	290,4	b	286,6	b
	T50	326,5	a	330,9	a	331,6	a	332,0	a	327,9	a	321,7	b	320,0	b	309,9	b	298,1	b	295,1	b	285,3	b	279,2	b
	T25	322,4	a	324,7	a	324,5	a	329,7	a	325,8	a	312,6	b	312,7	b	303,1	b	292,3	b	299,0	b	284,4	b	274,2	b
	T0	341,5	a	342,7	a	326,7	a	332,7	a	304,5	a	367,3	a	378,5	a	349,3	a	348,7	a	376,7	a	361,3	a	363,1	a
ΔArm	T100	8,5	b	–1,1	b	–15,5	a	0,5	a	15,0	a	–1,0	d	14,9	a	–20,8	a	6,7	b	4,4	b	–6,6	a	1,8	b
	T75	5,2	c	1,1	b	–14,2	a	0,6	a	12,5	b	4,7	c	5,8	b	–15,9	b	8,9	a	–0,8	d	–4,3	b	3,5	a
	T50	11,6	a	–4,1	a	–11,7	b	–0,4	a	5,7	c	10,1	b	5,5	b	–5,6	d	–3,6	d	8,5	a	–4,3	b	0,6	b
	T25	5,4	c	–3,8	a	–10,8	b	–0,3	a	4,3	c	13,1	a	5,3	b	–9,2	c	–0,2	c	4,5	b	–2,5	c	0,2	b
	T0	4,6	c	–3,8	a	–3,2	a	0,0	a	3,9	d	12,3	a	2,2	c	–12,6	b	0,9	c	2,3	c	–0,9	d	0,9	b
DP	T100	–10,9	a	–4,9	a	–3,5	a	–2,0	a	–1,1	a	–8,1	a	–16,7	b	–27,8	a	–9,4	a	–30,5	a	–18,0	a	–27,1	a
	T75	–4,9	a	–6,3	a	–1,8	a	–6,7	a	–4,0	a	–15,6	a	–35,7	a	–24,0	a	–14,3	a	–19,6	ab	–11,3	a	–22,2	a
	T50	–1,2	a	–1,6	a	–0,4	a	–0,0	a	–0,6	a	–2,9	a	–9,1	b	–5,7	b	–2,9	a	–8,6	b	–6,4	a	–8,3	b
	T25	–0,5	a	–0,27	a	–0,1	a	–0,3	a	–0,8	a	–0,2	a	–2,36	b	–0,8	b	–0,42	a	–2,21	b	–0,7	a	–0,9	b
	T0	–4,98	a	–4,6	a	–2,9	a	–3,9	a	–2,8	a	–9,9	a	–19,7	a	–13,0	a	–7,6	a	–22,5	ab	–10,8	a	–13,0	ab
ER	T100	59,0	a	119,4	a	89,6	a	44,2	a	62,8	a	63,4	a	120,6	b	122,1	a	145,0	b	154,7	a	110,3	a	176,0	a
	T75	91,9	a	136,7	a	99,5	a	43,4	a	64,6	a	35,0	a	159,4	ab	103,0	a	137,4	b	188,6	a	107,7	a	167,6	a
	T50	65,7	a	142,2	a	77,8	a	52,7	a	93,1	a	40,1	a	201,1	a	67,9	a	222,8	a	166,0	a	124,1	a	212,1	a
	T25	84,3	a	141,9	a	76,1	a	56,5	a	99,5	a	34,4	a	208,9	a	82,6	a	197,1	ab	195,6	a	115,9	a	209,3	a
	T0	110,3	a	157,2	a	48,5	a	50,6	a	110,9	a	39,2	a	226,4	a	106,4	a	203,1	ab	203,9	a	120,5	a	231,5	a

** Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p <0,05).