

SOLANGE PIZZOLATTO BALENA

**EFEITO DE POLÍMEROS HIDRORETENTORES
NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E HIDRÁULICAS
DE DOIS MEIOS POROSOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-
Graduação em Agronomia, Setor de Ciências
Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Celso Luiz Prevedello

CURITIBA
1998

“Somos o que repetidamente fazemos.
A excelência, portanto, não é um feito, mas um hábito”.

Aristóteles.

A meus amores:

Darlei e Rosianita

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Celso Luiz Prevedello, pela dedicação, amizade e competente orientação na realização deste trabalho.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, pela liberação e assistência concedidas durante a realização do curso.

Ao Convênio CAPES/PICDT pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realização do curso.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em “Ciência do Solo” da UFPR, pelos ensinamentos recebidos.

A TERRACOTEM do Brasil, na pessoa do Sr. Tadeu Amariz, pelo fornecimento dos polímeros utilizados no trabalho.

Ao Prof. Marco Aurélio de Mello Machado, coordenador do laboratório de física do solo da UFPR, pela liberação do mesmo para a realização dos experimentos e pela valiosa contribuição na correção do abstract.

Ao Gerson Novicki, Valdina C. Rocha, Elda N. L. Lubasinski e todos os funcionários da biblioteca, pela atenção dispensada e agradável convivência durante a realização do curso.

Aos colegas do curso de mestrado, pelos bons momentos compartilhados, pela troca de experiências e ajuda mútua.

Às amigas, Elisete Guimarães, Ionete Hasse e Neiva Badin, pela amizade e apoio.

Aos meus pais e irmãos, em especial à minha irmã Lourdes, pelo incentivo e ajuda durante o período de estudos.

Ao meu esposo Darlei Balena e a nossa filha Rosianita, pelo amor, carinho, compreensão e cumplicidade.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1 ASPECTOS GERAIS.....	3
2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E HIDRÁULICAS DOS SOLOS.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 ENSAIOS LABORATORIAIS.....	18
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MEIOS POROSOS.....	19
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 EFEITO DOS POLÍMEROS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E HIDRÁULICAS	24
4.2 EFEITO DOS POLÍMEROS NO TAMANHO MÉDIO DE POROS QUE ARMAZENAM MAIS ÁGUA.....	41
4.3 EFEITO DOS POLÍMEROS NA CONSERVAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO.....	43
4.4 DOMÍNIO DOS POLÍMEROS SOBRE OS EFEITOS NATURAIS	46
5 CONCLUSÕES.....	48
6 RECOMENDAÇÕES.....	49
ANEXO.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

LISTA DE QUADROS

1	Composição do polímero utilizado.....	18
2	Composição granulométrica dos meios porosos.....	18
3	Algumas especificações químicas dos meios porosos.....	18
4	Valores médios da condutividade hidráulica saturada.....	27
5	Parâmetros da equação de VAN GENUCHTEN para o solo argiloso.....	28
6	Parâmetros da equação de VAN GENUCHTEN para a areia marinha.....	28
7	Diâmetro médio de poros que armazenam mais água para o solo argiloso e a areia marinha.....	41
8	Valores da razão adimensional para p/pg do solo argiloso e da areia marinha.....	46
9	Valores da razão adimensional para os parâmetros independentes e DMPs do solo argiloso e da areia marinha.....	46
10	Valores médios da massa específica do solo seco para o solo argiloso e areia marinha.....	50
11	Valores médios da umidade de saturação para o solo argiloso e areia marinha.....	50
12	Valores médios da umidade volumétrica ajustados à equação de VAN GENUCHTEN (1980) para o solo argiloso.....	51
13	Valores médios da umidade volumétrica ajustados à equação de VAN GENUCHTEN (1980) para a areia marinha.....	51
14	Valores médios da umidade gravimétrica para o solo argiloso.....	52
15	Valores médios da umidade gravimétrica para a areia marinha.....	52
16	Valores médios da umidade volumétrica para o solo argiloso.....	53
17	Valores médios da umidade volumétrica para a areia marinha.....	53

LISTA DE FIGURAS

1	Esquema utilizado para medir a retenção de água do solo para tensões de até 3mH ₂ O.....	21
2	Curvas de retenção de água num solo argiloso.....	25
3	Curvas de retenção de água numa areia marinha.....	26
4	Condutividade Hidráulica do solo em função do θ para a concentração de 0 kg.m ⁻³ de polímero.....	30
5	Condutividade Hidráulica do solo em função do θ para a concentração de 2 kg.m ⁻³ de polímero.....	30
6	Condutividade Hidráulica do solo em função do θ para a concentração de 4 kg.m ⁻³ de polímero.....	31
7	Condutividade Hidráulica do solo em função do θ para a concentração de 8 kg.m ⁻³ de polímero.....	31
8	Condutividade Hidráulica do solo em função do θ para a concentração de 16 kg.m ⁻³ de polímero.....	32
9	Condutividade Hidráulica do solo em função do θ para a concentração de 32 kg.m ⁻³ de polímero.....	32
10	Valores da umidade residual da areia marinha em função dos valores do solo argiloso.....	34
11	Valores da umidade de saturação da areia marinha em função dos valores do solo argiloso.....	35
12	Valores do α da areia marinha em função do solo argiloso.....	36
13	Valores da Condutividade Hidráulica da areia marinha em função dos valores do solo argiloso.....	37

14	Valores da massa específica do solo seco da areia marinha em função dos valores do solo argiloso.....	38
15	Valores do parâmetro independente n da areia marinha em função dos valores do solo argiloso.....	39
16	Valores do parâmetro independente m da areia marinha em função dos valores do solo argiloso.....	40
17	DMP do solo argiloso em função do K_s	42
18	DMP da areia marinha em função do K_s	42
19	Resultados de simulação para perfis de umidade num latossolo vermelho escuro, textura argilosa.....	44
20	Resultados de simulação para perfis de umidade numa areia marinha.....	45
21	Razão adimensional entre o solo argiloso e a areia marinha.....	47

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo verificar o efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos. Os experimentos foram realizados no laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, no período de 18/03/97 a 30/10/97. A pesquisa utilizou um tipo de polímero hidroretentor, de procedência Belga, incorporado a dois meios porosos de distintas propriedades físico-químicas: um Latossolo vermelho escuro, textura argilosa, e uma areia marinha. Os polímeros foram aplicados na forma de grão seco, nas seguintes concentrações: 0,00; 2,00; 4,00; 8,00; 16,00 e 32,00 kg/m³. Foram determinadas a massa específica do solo seco, umidade gravimétrica e volumétrica, diâmetro médio de poros, e condutividade hidráulica saturada. Também foram elaboradas as curvas de retenção de água para as tensões de 0,00; 0,025; 0,045; 0,10; 0,20; 0,60; 1,50 e 3,00 mH₂O. O processo da evaporação da água no solo, também foi considerado, mas por simulação numérica. As curvas de retenção de água e os perfis de umidade na evaporação simulada, mostraram-se consideravelmente afastados pela adição de polímeros, particularmente na areia marinha. Os parâmetros independentes umidade residual, umidade de saturação e alfa, assim como o diâmetro médio de poros aumentaram progressivamente com o aumento da concentração de polímeros, enquanto que a condutividade hidráulica saturada e a massa específica do solo seco diminuíram com o aumento das concentrações. Verificou-se, também, que a partir da concentração de 8 kg/m³, as propriedades físicas e hidráulicas do solo deixaram de mostrar seus efeitos naturais e passaram a ser dominadas pela ação dos polímeros hidroretentores.

ABSTRACT

Effect of hidroretentive polymeric in the physical and hydraulic properties of two porous media

The purpose of the present work was to verify the effect of hidroretentive polymeric on the physical and hydraulic properties of two porous media. The experiments were accomplished in the Soil Physics Laboratory at the Federal University of Paraná from 03/18/97 to 10/30/97. The research was developed using a Belgium type of retentive polymeric incorporated in two porous media with their physico-chemical properties different: a loamy Oxixol and beach sand. The polymeric were applied in form of dry grains with the following concentrations: 0, 2, 4, 8, 16 and 32 kg.m⁻³. The analysed elementes were: bulk density, gravimetric and volumetric soil water content, mean diameter of pores, and saturated hydraulic conductivity. Water retention curves were also elaborated for the tensions of : 0,00; 0,025; 0,045; 0,10; 0,20; 0,60; 1,50 and 3,00 mH₂O. Water evaporation process from soil was also considered for numeric simulation. Water retention curves and the humidity profiles in the simulate evaporation drifted considerably from the origin by the addition of polymerous, particularly in the sea beach. The mean diameter of pores increased progressively with the increase of the polymeric concentration. It was also verified that over concentration of 8 kg.m⁻³, the physical and hydraulic properties of the soil did not have its natural effects and became dominated by the action of the polymeric.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produção de alimentos, aliada à globalização do comércio e à competitividade dos produtos agrícolas, tem estimulado cooperativas e produtores a buscarem técnicas alternativas para a melhoria da produtividade e redução de custos.

Deste modo, os polímeros hidroretentores passaram a ser pesquisados como forma de minimizar os problemas associados à baixa produtividade, geralmente provocada pela disponibilidade irregular ou deficitária de água e má estruturação do solo.

Esses polímeros, arranjo de moléculas orgânicas, quando secos, possuem forma granular e quebradiça. Ao serem hidratados, transformam-se em gel, cuja forma macia e elástica possibilita absorver cerca de cem vezes o seu peso em água.

Inicialmente utilizados como alternativa de produção para as regiões de clima árido, sua aplicação tornou-se conhecida nas diferentes partes do planeta diversificando-se sobremaneira, principalmente em hortaliças e culturas anuais.

Experimentos adicionando ou incorporando-os ao solo têm produzido resultados que variam, de acordo com as propriedades físicas de cada solo, condições climáticas, culturas, disponibilidade de água e propriedades características dos polímeros.

A maior parte das pesquisas realizadas mostrou-se favorável ao emprego de polímeros nos solos agrícolas, apresentando como principal fator de convergência a melhor utilização da água.

Apesar da existência de um número expressivo de artigos que relatam a utilização de polímeros hidroretentores como técnica alternativa para a agricultura, as informações sobre seus efeitos nas propriedades hidráulicas do solo são bastante limitadas.

Por isso, o presente trabalho teve por objetivo ampliar essas informações verificando o efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades hidráulicas de dois materiais porosos de distintas propriedades físico-químicas: um de natureza argilosa e outro arenosa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aspectos Gerais

Durante os últimos 20 anos foram realizadas inúmeras pesquisas sobre o efeito dos condicionadores no desenvolvimento das culturas e na conservação de água no solo. Alguns trabalhos apresentam resultados semelhantes, enquanto outros divergem. Isso pode ser explicado pelo fato dos estudos terem sido conduzidos sob realidades e situações diversas, tanto no que diz respeito ao clima e meios porosos, quanto aos polímeros e métodos utilizados.

Nesta revisão buscou-se conhecer o maior número desses trabalhos, situando-os no espaço e tempo.

GEHRING & LEWIS (1980), do Instituto Politécnico da Virgínia, verificaram que a adição de hidrogéis diminuiu o stress hídrico e aumentou o tempo para murchar. O estudo foi conduzido em estufa a partir da incorporação de diferentes concentrações de polímeros em recipientes contendo mudas comerciais de malmequer e Zínia. Cento e dezoito horas após a irrigação, a tensão na Zínia foi drasticamente reduzida. Neste ponto, todas as mudas utilizadas como testemunha murcharam. Os efeitos foram diretamente proporcionais às taxas de polímero aplicadas. Resultados similares foram obtidos para o malmequer.

TAYEL et al. (1981), da Faculdade de Agricultura do Cairo, testaram três condicionadores em solos de diferentes características físico-químicas, e notaram um aumento significativo no peso seco da cevada cultivada em solo calcário e franco argiloso. Porém, a cevada cultivada em solo arenoso não sofreu alterações. Observaram também que os hidroretentores podem ser um meio eficaz na redução da evaporação de água do solo e na transpiração das plantas, melhorando o regime hídrico.

Experimentos conduzidos por FLANNERY & BUSSCHER (1982), do Departamento de Solos de Nova Jérsei, demonstraram que ao adicionar polímeros nas culturas de azaléia e azevém elevou-se a capacidade de retenção de água no solo, sendo a maior parte dela disponível para as plantas. Deste modo, a freqüência e a quantidade total das irrigações diminuíram. No entanto, o resultado foi bem significativo apenas para as taxas de $6,4 \text{ kg.m}^{-3}$. Não foram registrados efeitos sobre a germinação de sementes e o rendimento da matéria seca.

AZZAM (1983), do Departamento de Química do Cairo, investigou a utilização do polímero como forma de melhorar as condições de germinação e transplante de mudas em solos desérticos. Adicionado ao solo, o condicionador, aumentou em 31% a retenção de água. Ele observou, ainda, que os polímeros sofreram uma decomposição paulatina provocada pela ação do cultivo, cuja taxa anual foi 10 % para os solos continuamente cultivados.

JOHNSON (1984 a), do Departamento de Botânica de Liverpool, verificou que a capacidade de retenção de água em um solo arenoso aumentou de 171 para 402%, ao adicionar 2 gramas do condicionador por quilograma de solo. Em estudo imediatamente posterior, JOHNSON (1984b) examinou o efeito das cargas elétricas presentes na hidratação dos hidrogéis, em seis sais: cloreto de cálcio, cloreto de sódio, cloreto de magnésio, sulfato de magnésio, sulfato de sódio e bicarbonato de sódio, cada um com concentrações de 10 a 45 mM. Sua conclusão foi que estes sais inibiram a absorção de água para todos os polímeros, mas, em diferentes graus. A maior inibição ocorreu para 11mM de CaCl_2 e 10 mM de MgSO_4 .

BAASIRI et al. (1986), da Universidade de Beirute, avaliaram a estabilidade do polímero com relação à temperatura, à influência na penetração das raízes, e aos efeitos sobre a capacidade de retenção, liberação e permeabilidade da água; em solos arenosos e argilosos, nas concentrações de $1,2$ e 4 kg.m^{-3} , para a cultura de pepino. Os autores concluíram que o

aumento da temperatura ambiente reduziu a capacidade de retenção de água sendo seu efeito mais drástico nas temperaturas superiores a 60°C. A adição do condicionador produziu aumento significativo no rendimento dos frutos e parâmetros da cultura, ao mesmo tempo em que diminuiu a quantidade de irrigações necessárias. O polímero foi mais eficiente nos solos arenosos e quando completamente incorporado até a profundidade de 20 cm.

TAYLOR & HALFACRE (1986), do Departamento de Horticultura de Clemson – Carolina do Sul, observaram que plantas contendo altos níveis de N e K, e baixos de Ca, Mg e outros cátions bivalentes, melhoraram o seu desenvolvimento na presença de polímeros. Para eles, se corretamente utilizados, os hidrotentores podem diminuir a necessidade de nutrientes para as culturas. Por outro lado, a absorção e retenção de água poderão ser afetadas pela presença de cátions na solução, se a aplicação de polímeros coincidir com a de fertilizantes.

ADAMS & LOCKABY (1987), da Escola Florestal de Ruston - Louisiana, acompanharam os efeitos dos condicionadores nas sementeiras. Eles observaram que dezoito dias após a irrigação, 100% das mudas utilizadas como testemunha murcharam. Nenhuma muda que recebeu taxa adequada de polímero murchou. Resultados semelhantes foram registrados com relação à mortalidade das mesmas. Foi observado também um decréscimo na perda de nutrientes por lixiviação.

SWIETLIK (1989), da Universidade “Citrus Center” do Texas, avaliou os efeitos dos hidrotentores em videiras jovens. As taxas utilizadas foram 1,2 e 2,0 kgm⁻³. A condutância estomatal e o potencial de água foram maiores nas plantas que receberam as maiores concentrações de polímero, porém, esse efeito teve curta durabilidade sendo percebido apenas nos dois primeiros meses.

Um ano mais tarde, BOWMAN (1990), da Universidade de Nevada, e EVANS & PAUL (1990), da Universidade da Califórnia, investigaram os efeitos de vários fertilizantes sais, em concentrações utilizadas comercialmente, sobre três diferentes polímeros. Os experimentos demonstraram que na presença dos cátions bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e monovalentes (K^+ e NH_4^+), na concentração de 20 meq/L, a taxa de hidratação dos polímeros foi reduzida de 10 a 20 % do máximo. A hidratação não foi afetada pela valência do ânion acompanhante, nem pela adição de uréia nas taxas de 2 a 20 mM.

FOSTER & KEEVER (1990), do Departamento de Horticultura de Mobile – USA, determinaram a absorção de água para quatro condicionadores quando combinados com os corretivos de solo: Micromax, Osmocote, gesso e calcário dolomítico. A pesquisa revelou que a absorção de polímeros foi reduzida para todas as combinações de corretivos sendo desaconselhável a aplicação simultânea dos mesmos.

No mesmo ano, WANG & GREGG (1990), da Universidade Agrícola de Weslaco – Texas, fizeram três constatações: 1) sais ou aditivos químicos na solução utilizada para hidratar os polímeros limitaram a capacidade de absorção e retenção de água; 2) a capacidade de absorção varia muito entre os condicionadores quando os mesmos são hidratados com água destilada; e 3) todos os polímeros alcançaram menor retenção quando hidratados com água de torneira.

WOODHOUSE & JOHNSON (1991), da Universidade de Liverpool, destacaram que o uso de condicionadores pode ser economicamente eficaz na germinação de sementes e na produção de mudas. Nesse mesmo ano, SZMIDT & GRAHAM constataram que a incorporação de polímeros melhorou o desempenho de mudas transplantadas.

MORTVEDT, KELSOE & MIKKELSEN (1992), os primeiros do Departamento de pesquisas agrícolas de Tennessee, e o último do Departamento de Ciências do solo da

Carolina do Norte, pesquisando os efeitos da combinação de polímeros com FeSO_4 no plantio de sorgo, em solos calcários, concluíram que a quantidade de ferro absorvido e a produção de matéria seca aumentaram na presença dos condicionadores. Eles destacaram que alguns polímeros podem ser efetivos carregadores de FeSO_4 em solos onde ocorre a deficiência do nutriente.

Um ano mais tarde, FONTENO & BILDERBACK (1993), do Departamento de Horticultura da Carolina do Norte, estudaram a absorção e expansão de hidrogéis. A pesquisa utilizou polímeros na forma de grãos secos nas taxas de 0,0 ; 0,6; 1,2 e 1,8 kg.m^{-3} . Os resultados demonstraram uma expansão de cerca de 317 e 372 vezes os valores dos pesos secos, respectivamente para a maior e menor concentração. Segundo os autores, a redução na expansão da maior taxa pode ter sido influenciada pelas quantidades de íons solúveis, ou devido a restrições físicas do próprio polímero.

MIKKELSEN et al. (1993), do Departamento de Ciências do Solo da Carolina do Norte, conduziram estudos em laboratório e em estufa para determinar o comportamento dos hidroretentores com relação a perda de N por lixiviação. Foram realizados dois experimentos. No primeiro, o polímero foi misturado a uma solução de (UAN) nitrato de amônio e uréia (32% N), aplicado em um solo arenoso, e submetido à lixiviação semanal durante seis semanas. Os autores observaram que a lixiviação do nitrogênio foi reduzida em 45% durante as primeiras quatro semanas. O segundo experimento examinou a adição de vários polímeros para UAN como um meio de reduzir a perda de nitrogênio e aumentar o crescimento da planta. A perda de N por lixiviação foi reduzida em média 26; 16; 7 e 7 % da primeira à quarta semana da aplicação do fertilizante. Enquanto o crescimento da *Festuca arundinacea*, espécie de gramínea utilizada na pesquisa, aumentou em 40%.

Experimento similar foi conduzido, no mesmo ano, por BRES & WESTON(1993), do Departamento de Horticultura da Universidade de Kentucky, aplicando 0,88 g de nitrato de amônio com dois diferentes hidrogéis nas taxas de 1,2 e 3 kg.m⁻³ em uma plantação de tomates. Os resultados demonstraram que a retenção de água aumentou linearmente com as taxas de aplicação dos hidroretentores. Os condicionadores também evitaram a perda do nitrato por lixiviação aumentando significativamente os níveis de nitrogênio foliar no tomate.

Ainda no mesmo ano, BHARAMBE et al. (1993), da Universidade Agrícola de Maharashtra - Índia, aplicaram o condicionador em uma plantação de amendoim em um campo experimental de solo argiloso. A pesquisa foi conduzida durante os anos de 1987 a 1989, não apresentando, segundo os autores, qualquer efeito sobre a cultura.

A mesma cultura foi avaliada por SHINDE S. H & BACHCHHAV M. M. (1993), também da Universidade de Maharashtra. Eles analisaram a influência dos polímeros na eficiência da água de irrigação. Foram aplicadas de 9-15 irrigações. O melhor resultado foi obtido com onze irrigações. O rendimento das sementes aumentou com o aumento das irrigações mas não foi afetado pela aplicação do hidrogel.

ELLIOTTI (1993), do Departamento de Ciências da Universidade de Storrs, assegurou que a aplicação de hidroretentores na região das raízes reduziu as perdas de água e minerais por percolação, e BLODGETT et al. (1993), do Departamento de Horticultura da Pensilvânia, constataram que os condicionadores produzem resultados mais eficientes quando combinados com substratos de vermiculita e turfa.

NISSEN (1994), da Faculdade de Ciências Agrárias do Chile, percebeu que dependendo da quantidade, distribuição das precipitações e temperatura, as aplicações do polímero produzem aumentos importantes no rendimento, diâmetro e peso dos frutos. Ele concluiu que

a combinação de hidrogéis com a técnica de irrigação por gotejamento pode ser uma alternativa viável e economicamente competitiva, para as culturas de alta rentabilidade.

Um estudo ambiental realizado por VOLKMAR & CHANG (1995), da Agri-food do Canadá, revelou que os polímeros não foram efetivos nas taxas comercialmente recomendadas. Foram avaliados dois condicionadores para as culturas de cevada e canola. As concentrações utilizadas foram 0,03; 0,12; 0,47; 1,87 g.kg⁻¹ (recomendadas) e 1; 4; 16; e 64 g.kg⁻¹ (arbitradas).

No mesmo ano, MIKKELSEN (1995), do Departamento de Ciências do Solo da Universidade da Carolina do Norte, analisou os efeitos da aplicação de hidroretentores juntamente com MnO, MnSO₄.4H₂O e MnCl₂ para a cultura de soja. O experimento, conduzido em estufa, registrou um aumento médio no acúmulo de Mn na folha de 89% nas aplicações associadas ao polímero.

Também no mesmo ano, PASCHOLD et al. (1995), do Departamento de cultura vegetal de Geisenheim – Alemanha, testaram os polímeros como substratos para culturas hidropônicas. Os resultados obtidos asseguram que esta poderá ser mais uma forma eficiente de utilização dos mesmo.

Os autores que seguem fizeram menção a influência dos polímeros nas propriedades físicas do solo.

BAASIRI et al. (1986) observaram que ao incorporar o polímero, a massa específica do solo seco decresceu, passando de 1420 kg.m⁻³ para 1150 kg.m⁻³ na areia, e de 1200 kg.m⁻³ para 920 kg.m⁻³ na argila. A porosidade total e a disponibilidade de água aumentaram, enquanto a permeabilidade diminuiu, especialmente em solos arenosos.

BOWMAN et al. (1990) verificaram que a adição de hidroretentores, desacompanhados de fertilizantes, alterou as propriedades físicas do solo. A umidade aumentou

substancialmente, a porosidade total e a capacidade de retenção tiveram um ligeiro aumento, enquanto a massa específica das partículas apresentou uma pequena redução. Porém, na presença de concentrações típicas de fertilizantes, os polímeros não apresentaram qualquer efeito na porosidade total e na massa específica das partículas, e a umidade só apresentou aumento significativo para adições superiores a 2,4 kg de polímero por m³ de solo.

No mesmo ano, WANG & GREGG (1990) registraram aumentos na umidade volumétrica e retenção de água provocados pela adição de polímeros ao solo.

Finalmente, FONTENO & BILDERBACK (1993) notaram que as massas úmidas e secas aumentaram linearmente com as concentrações de hidrogéis, enquanto a porosidade total não sofreu alteração.

2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E HIDRÁULICAS DOS SOLOS:

2.2.1 MASSA ESPECÍFICA DO SOLO SECO (ρ_{ss})

É denominada massa específica do solo seco a relação entre a massa do solo seco (110°C) e o volume total, incluindo o volume de poros. Quanto maior o valor da massa específica do solo seco, menor é a porosidade total do solo.

Para WARREN (1975), o conhecimento da ρ_{ss} é útil para :

- a) transformar a umidade gravimétrica do solo em umidade volumétrica e consequentemente calcular a lâmina de água no solo;
- b) calcular a porosidade total de um solo, quando se conhece a massa específica das partículas;
- c) estimar o grau de compactação do solo; e
- d) estimar a massa da camada arável.

2.2.2 POROSIDADE TOTAL DO SOLO (α)

A fração volumétrica total dos poros do solo, conhecida como porosidade total, é uma importante propriedade dos mesmos. Tanto a solução quanto o ar do solo são armazenados e transportados dentro desses espaços porosos. A estrutura do solo pode ser medida de várias formas, mas possivelmente a maneira mais completa de avaliá-la é conhecendo a quantidade, o tamanho, a configuração e a distribuição dos poros. Os poros grandes (macroporos) afetam a aeração e drenagem; os poros intermediários (mesoporos) são mais efetivos na redistribuição da água; e os poros menores (microporos) garantem o armazenamento de água disponível para as plantas. Em regiões de pouca precipitação, os poros de armazenamento são de vital importância. Da mesma forma, os macroporos são necessários para assegurar uma adequada capacidade de infiltração, sendo importantes para remover o excesso de água do solo após a ocorrência de fortes chuvas ou inundações.

Os solos diferem muito em porosidade. O aumento na proporção de um certo tamanho de poros implica na redução da porcentagem do outro.

Segundo PREVEDELLO (1996), os seguintes intervalos de valores de poros têm sido encontrados na superfície dos solos cultivados:

Classes de Solo	α ($m^3.m^{-3}$)
Arenosos	0,35-0,50
Siltosos e francos	0,30-0,55
Argilosos	0,40-0,65
Humíferos	0,60-0,80
Turfosos	0,80-0,85

2.2.3 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A condutividade hidráulica K é um parâmetro que mede a facilidade com que o solo transmite água. Quanto maior a condutividade hidráulica, tanto maior a facilidade com que a água se move no solo. Para um dado gradiente de potencial hidráulico, ela representa a medida em volume de água $V(m^3)$ que passa pela unidade de área $A (m^2)$ na unidade de tempo $t (s)$, resultando numa altura de água por unidade de tempo. O valor máximo de K é quando o solo se encontra saturado ($\theta = \theta_s$) e é denominado de condutividade hidráulica saturada (REICHARDT, 1990). A textura e a estrutura dos solos são propriedades a que a condutividade hidráulica se acha mais diretamente ligada, ficando na dependência do tamanho e da configuração dos poros. Qualquer fator que exerça influência sobre o tamanho e a configuração dos poros do solo exerce também influência sobre a condutividade hidráulica. A razão do fluxo total nos poros do solo é proporcional à quarta potência do raio. Assim, o fluxo através de um poro com 1 mm de raio é equivalente ao de 10.000 poros com um raio de 0,1 mm, embora sejam necessários apenas 100 poros com raio de 0,1 mm para fornecer a mesma área com corte transversal de um poro de 1 mm. Em condições saturadas, os poros maiores conduzem a maior parte da água. O movimento da água em solos saturados é fácil de compreender porque, em geral, o armazenamento permanece constante e a velocidade de fluxo é diretamente proporcional à força impulsora. A Lei de Darcy diz que em um solo saturado a água se move em direção a diminuição do potencial hidráulico com velocidade diretamente proporcional a diferença de potencial hidráulico entre os pontos (SAMPAT, 1973).

A condutividade hidráulica é obtida pela equação de Darcy

$$(1) \quad q = V/At = -K(dh)/ds \quad \text{onde,}$$

q é a densidade de fluxo (m.s^{-1});

K é a condutividade hidráulica (m.s^{-1});

dh/ds é o gradiente de potencial hidráulico (m.m^{-1});

h é a energia da água por unidade de peso (m);

s é uma coordenada de posição(m).

2.2.4 UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo é muito dinâmica. Ela depende do clima, da irrigação, das plantas, da profundidade do solo e das características e condições físicas do perfil.

A umidade do solo pode ser expressa gravimetricamente, com base na massa, ou volumetricamente, com base no volume. A gravimétrica é a forma mais básica de se expressar a umidade. A umidade influencia outras propriedades físicas do solo como a massa específica, a porosidade total, a condutividade hidráulica, a resistência ao corte, a consistência, a sucção total da água e a cor do solo.

A umidade gravimétrica é obtida pela equação

$$(2) \quad U = (m_u - m_s)/m_s \quad \text{onde,}$$

U é a umidade gravimétrica do solo (kg.kg^{-1});

m_u é a massa do solo úmido (kg);

m_s é a massa do solo seco (kg).

A umidade volumétrica é obtida pela equação

$$(3) \quad \theta = U \times \rho_{ss} / \rho_{ag} \quad \text{onde,}$$

θ é a umidade volumétrica ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

U é a umidade gravimétrica ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$);

ρ_{ss} é a massa específica do solo seco ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

ρ_{ag} massa específica da água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), admitida valendo $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

A equação de Van Genuchten para retenção de água é

$$(4) \quad \theta(\psi) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha / \psi)^n]^m \quad \text{onde,}$$

θ_s é a umidade de saturação ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

θ_r é a umidade residual ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

α , m e n são parâmetros de ajuste ($m=1-1/n$).

2.2.5 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

As curvas de retenção de água têm grande utilidade na prática porque esclarecem as relações de retenção de energia que exercem influência sobre as condições do solo, o movimento de água nos solos, e sua captação e utilização pelos vegetais. A ausência de bruscas mudanças nas curvas indica gradual diminuição de tensão com o aumento da água do solo. O volume da água retida em determinado volume de solo, para uma dada tensão específica, representa o volume de poros de tamanho determinado por esta tensão (VOMOCIL, 1965). Os valores da tangente na curva de retenção, para valores específicos de umidade ou de tensão, conduzem a uma curva, cujo pico conduz ao diâmetro médio de poros. O tamanho médio do poro é o mais eficaz indicador da capacidade de armazenamento de água de um solo.

Se optarmos pelo modelo da curva de retenção de VAN GENUCHTEN (1980), a função de distribuição de frequência é dada pela equação (PREVEDELLO,1996):

$$(5) \quad |p/\rho g|_{max} = 1/\alpha [n-1/n]^{1/n} \quad \text{onde,}$$

$|p/\rho g|_{max}$ é o valor de $|p/\rho g|$ para o qual o valor absoluto da capacidade específica é máximo.

Combinando essa equação com a equação $|p/\rho g| = 2\sigma \cos\phi / [(\rho - \rho_{ar})] gr \approx 2\sigma \cos\phi / \rho gr$, obtém-se:

$$(6) \quad r = (2\sigma \alpha \cos\phi / \rho g) [n-1/n]^{1/n} \quad \text{que é a equação utilizada para calcular o diâmetro de poros médios.}$$

Nessa equação,

σ é o coeficiente de tensão superficial, admitido como 73×10^{-3} N/m

ϕ é o ângulo de molhamento, admitido como 0° ,

ρ é a massa específica da água, admitida como 1000 kg/m^3 , e

g é a aceleração da gravidade, admitida como $9,81 \text{ m/s}^2$.

2.2.6 CAPACIDADE DE CAMPO

Depois de uma chuva ou irrigação haverá um contínuo movimento descendente, relativamente rápido, de certa quantidade de água em atendimento ao gradiente hidráulico. Depois de 2 a 3 dias este movimento torna-se desprezível. Diz-se então que o solo está na sua capacidade de campo. Neste momento a água já saiu dos macroporos e seu lugar foi ocupado por ar. Os microporos ou poros capilares ainda se encontram cheios de água e desta fonte os vegetais absorvem boa parte da água de que necessitam. A água acima da capacidade de campo é denominada gravitacional. Essa água é de pouca utilidade para os vegetais porque permanece no solo por períodos de tempo relativamente curto, e ocupa os poros maiores,

reduzindo assim a sua aeração. Já a água capilar é retida pelos poros de tamanho capilar e seu comportamento está de acordo com as leis que governam a capilaridade (BRADY, 1989).

2.2.7 CONDICIONADORES DE SOLO

Em física do solo, chama-se condicionador de solo a qualquer substância que, a ele adicionada, melhora suas propriedades físicas. Os condicionadores servem como reservatórios de água no solo aumentando a quantidade de água que as plantas poderão utilizar eventualmente. Também podem favorecer um melhor desenvolvimento do sistema radicular que promoverá uma maior absorção de água pela planta. Eles são particularmente relevantes para solos de regiões áridas, pois promovem o uso eficiente da água e o estabelecimento da vegetação facilitada pela influencia da agregação do solo, infiltração, retenção e permeabilidade à água e ao ar (SAMPAT, 1973).

2.3 POLÍMEROS HIDRORETENTORES

São constituídos por uma cadeia de unidades estruturais repetidas chamadas monômeros. A polimerização ocorre quando duas ou mais pequenas moléculas se combinam para formar moléculas maiores. Este arranjo de moléculas orgânicas, quando seco, possui forma granular e quebradiça, transformando-se em elástica e macia em contato com a água. Eles absorvem em água muitas vezes o seu próprio peso (BOWMAN et al., 1990). Incorporados ao solo tem produzido resultados variáveis nas características de retenção de água e redução das irrigações.

Embora exteriormente os polímeros sejam semelhantes, sua composição química pode ser bem diferente, afetando a maneira de absorção, retenção e liberação de água. Por isso, eles são classificados em três grupos distintos. Ao primeiro grupo pertencem os polímeros nos

quais a água fica retida por uma forte ligação de hidrogênio (H-H) permanecendo totalmente dentro do polímero. O segundo grupo possui a capacidade de absorver enorme quantidades de água, porém, uma fraca ligação a impede de permanecer no mesmo por longos períodos. Nos polímeros do terceiro grupo a água é acumulada por uma fraca ligação de hidrogênio e uma forte força de Van Der Waals, sendo retida e liberada por longo tempo. Os polímeros utilizados para fins agrícolas pertencem ao terceiro grupo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ENSAIOS LABORATORIAIS

Para a realização dos ensaios laboratoriais foram utilizadas diferentes concentrações de um tipo de polímero hidroretentor de industrialização belga, em dois meios porosos de distintas propriedades físico-químicas: um Latossolo vermelho escuro (LE), textura argilosa, proveniente da região sudoeste do Paraná, município de Pato Branco, e uma areia marinha, do balneário de Caiobá, litoral paranaense. Algumas especificações do polímero, da granulometria e das propriedades químicas dos meios porosos encontram-se nos quadros 1, 2 e 3, respectivamente.

Quadro 1 - Composição do polímero utilizado (valores percentuais)

Hidrogel	Macro elementos	Estimulantes de crescimento	Silício
39,5	10,5	0,25	49,75

Quadro 2 - Composição granulométrica dos meios porosos (valores percentuais)

	Areia	Silte	Argila
LE	12,0	26,0	62,0
Areia	99,5	0,5	0,0

Quadro3 - Algumas especificações químicas dos meios porosos

Amostra	CaCl ₂	Al ⁺³	H+Al	Ca ⁺² +Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	T	P	C	m	V
	pH			cmolc.dm ⁻³				mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	%	%
LE	5,1	0,0	5,8	7,9	4,6	0,75	14,5	7,0	18,0	0,0	59,9
Areia	6,1	0,0	2,0	1,7	0,5	0,08	3,8	4,0	0,0	0,0	47,1

Os meios porosos supra citados foram utilizados na forma de TFSA (terra fina seca ao ar), e os ensaios desenvolvidos no laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, no período de 18/03/97 a 30/10/97. Foram usadas as seguintes concentrações de polímeros: 0; 2; 4; 8; 16 e 32 kg.m⁻³.

Devido a grande variabilidade granulométrica dos polímeros e ao tamanho reduzido das amostras, optou-se por peneirá-lo, utilizando nos ensaios apenas as frações que ficavam retidas entre as malhas de 0,5 e 1,0 mm de diâmetro. A realização de testes preliminares asseguraram que este procedimento além de não alterar as propriedades do polímero, conferia-lhe uma incorporação mais homogênea nos meios porosos.

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MEIOS POROSOS

3.2.1 MASSA ESPECÍFICA DO SOLO SECO (ρ_{ss})

Para essa determinação as amostras foram primeiramente preparadas incorporando polímeros em cada meio poroso até obter as concentrações desejadas. Em seguida, preencheram-se os volumes dos cilindros de 0,036m de diâmetro e 0,025m de altura e eles foram levados à saturação por 24 horas. Após a saturação, foram aparados os excessos de solo naquelas amostras que tiveram aumentados seus volumes por conta da concentração de polímeros, e determinada a massa de solo seco contida em cada cilindro, depois das mesmas terem permanecido por 48h em estufa a 378 K. Só então, a massa específica do solo seco foi determinada pela equação:

$$(7) \quad \rho_{ss} = m_s / v_t \quad \text{onde,}$$

ρ_{ss} é a massa específica do solo seco (kg.m⁻³);

m_s é a massa do solo seco a 378 K (kg);

v_t é a volume do cilindro (m³).

3.2.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA (K_s)

A condutividade hidráulica saturada foi determinada preparando-se as amostras em cilindros de 0,042 m de diâmetro por 0,068 m de altura. Elas foram preparadas, tal como na determinação de pss. Após a saturação por aproximadamente 24 horas, cada amostra foi levada ao permeâmetro de carga constante.

Uma proveta de Mariotte foi utilizada para a formação de carga hidráulica constante sobre a amostra. Após a proveta ter indicado que a condição de regime de fluxo permanente fora atingida, a água percolada durante 5 minutos foi coletada em um bécker. Medida a massa do conteúdo de água e considerando-se a densidade da mesma unitária, calculou-se o volume de água percolada.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi então determinada pela equação (1), e os valores médios de cinco repetições encontram-se no quadro 4.

3.2.3 CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Para a elaboração das curvas de retenção de água foram utilizados funis de Büchner suspensos por roldanas (Figura 1), e cilindros de 0,03 m de diâmetro por 0,03 m de altura, nas seguintes tensões: 0; 0,025; 0,045; 0,10; 0,20; 0,60; 1,50; 3,00m H₂O. Após as amostras serem saturadas por 24 horas, elas eram submetidas à tensão por 12 horas. Depois disso, a umidade gravimétrica de cada amostra foi determinada pela equação (2).

De posse dos valores médios da umidade gravimétrica calculou-se a umidade volumétrica pela equação (3).

Os valores obtidos para a média de cinco repetições encontram-se nos quadros: A7 e A8.



FIGURA 1 - Esquema utilizado para medir a retenção de água do solo para tensões de até 3,00 mH₂O.

3.2.4 UMIDADE VOLUMÉTRICA SATURADA (θ_s)

Para a obtenção dos valores experimentais da umidade volumétrica saturada procedeu-se de forma análoga à da condutividade hidráulica saturada. Os cilindros foram completamente preenchidos pelo solo com as respectivas concentrações de polímero. Com a saturação, o volume do solo aumentou de forma considerável, especialmente nas amostras com maior concentração de polímero. Depois de retirar o solo que excedeu o nível dos cilindros, efetuaram-se as medidas da massa úmida e da massa seca à estufa, da mesma forma que nos experimentos anteriores, e com o mesmo número de repetições por amostra. Os valores da umidade volumétrica saturada foram obtidos pela equação 8 e se encontram no quadro A2.

$$(8) \quad \theta_s = (m_u - m_s) / v_t \quad \text{onde,}$$

θ_s é a umidade volumétrica saturada ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

m_u é a massa úmida (kg);

m_s é a massa seca a 378 K (kg);

v_t é o volume do anel cilíndrico (m^3).

3.2.5 PARÂMETROS MÉDIOS DE AJUSTE DA EQUAÇÃO DE VAN GENUCHTEN (1980).

Os parâmetros de ajuste da equação (4) foram obtidos a partir dos dados de tensão da água no solo ($|p/\rho g|$) e umidade volumétrica (θ), para cada concentração de polímero, nos dois meios porosos, por técnica de regressão não linear, conforme BORATTO (1984).

3.2.6 DIÂMETRO MÉDIO DE POROS

PREVEDELLO (1996) definiu a expressão para o tamanho de poros que contém maior quantidade de água num solo, convencionalmente chamado “tamanho médio de poros”, combinando a equação (5) com os conceitos de capacidade específica e capilaridade, obtendo:

$$(9) \quad r = (2\sigma \alpha \cos\phi / \rho g) [n-1/n]^{1/n}$$

Aplicando, a essa equação, os valores dos parâmetros independentes e multiplicando o resultado por dois, foram obtidos os valores para o diâmetro de poros médios para os dois meios porosos os quais encontram-se no quadro 7.

3.2.7 SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA A EVAPORAÇÃO DO SOLO

De posse dos parâmetros independentes da equação (4), juntamente com os valores da condutividade hidráulica saturada, e do modelo numérico proposto por PREVEDELLO (1996) para a simulação do processo da evaporação da água no solo, realizou-se a simulação da evaporação de água para os perfis de umidade após 168 horas de evaporação, na taxa de 5mm/d, para as diferentes concentrações de polímero nos dois meios porosos.

As figuras 29 e 30 representam esta simulação.

3. 3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores obtidos nos ensaios laboratoriais foram analisados estatisticamente pelo programa estatístico Statgraphics. As funções utilizadas foram: regressão simples, regressão não linear e análise comparativa para duas amostras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITO DOS POLÍMEROS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E HIDRÁULICAS DOS MEIOS POROSOS

Com os dados da umidade em função das tensões 0; 0,025; 0,045; 0,10; 0,20; 0,60; 1,50; 3,00mH₂O, para as concentrações de polímeros 0; 2; 4; 8; 16 e 32 kg.m⁻³, foram elaboradas as curvas de retenção de água para o solo argiloso (Figura 2), e para a areia marinha (Figura 3). Para a elaboração das curvas, os valores da umidade volumétrica foram ajustados à equação (4) e encontram-se nos quadros A3 e A4.

Observando as figuras e quadros citados percebe-se que a adição de polímeros produziu um aumento progressivo na retenção de água do solo.

No solo argiloso, a capacidade de retenção de água para a concentração de 32 kg.m⁻³ foi acrescida em 1,3 vezes para a menor tensão (0,025mH₂O) e 1,9 vezes para a maior tensão (3,00mH₂O). O incremento foi ainda superior na areia marinha registrando um aumento 2,0 vezes maior para a menor tensão e 7,5 vezes maior para a maior tensão.

Comparando a inclinação das curvas de retenção de água do solo argiloso com as da areia marinha, observa-se que elas tornam-se muito semelhantes a partir da concentração de 8 kg.m⁻³. Isto evidencia o domínio de polímeros sobre as propriedades naturais dos meios porosos.

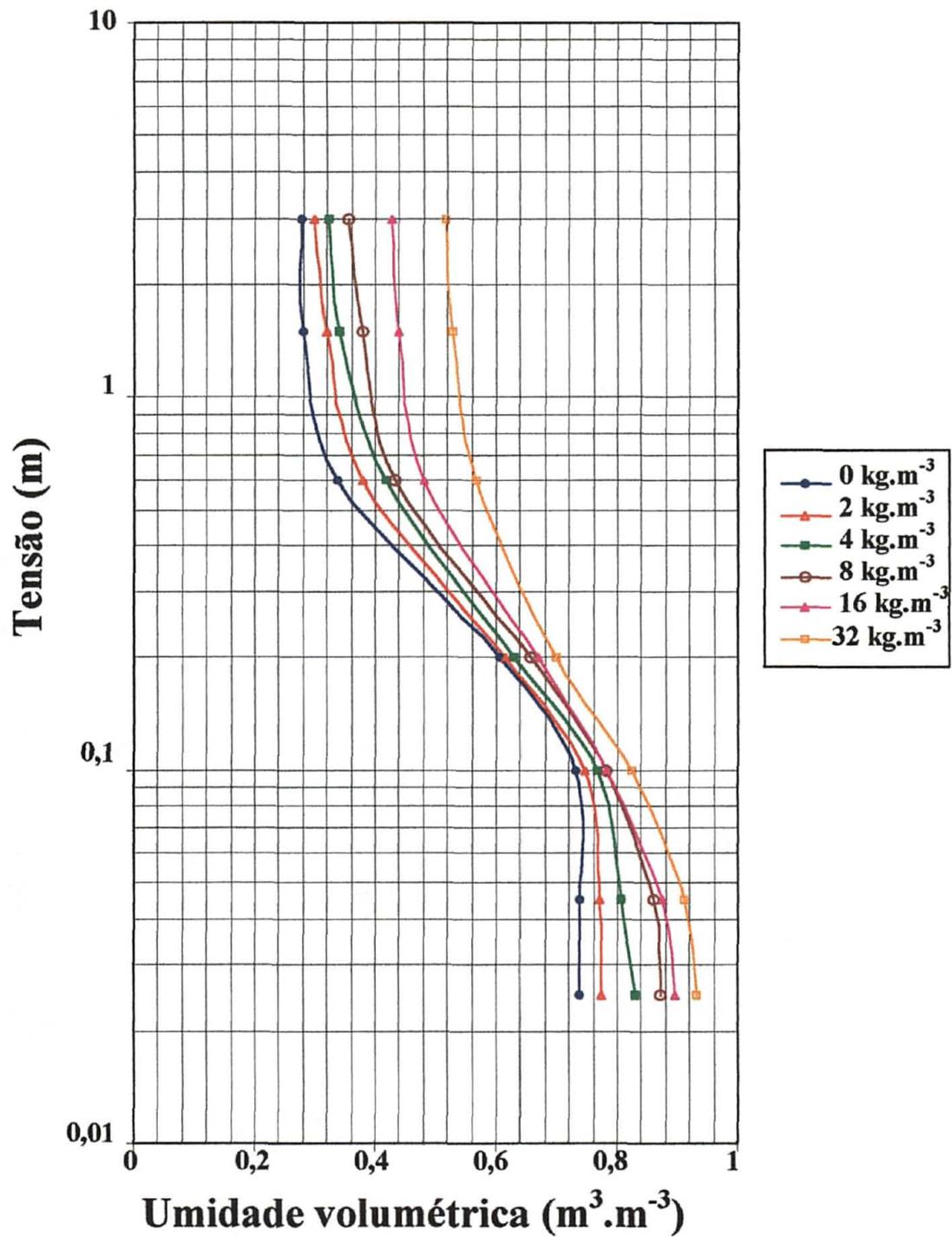


FIGURA 2 – Curvas de retenção de água num latossolo vermelho escuro, textura argilosa nas tensões de 0; 0,025; 0,045; 0,10; 0,20; 0,60; 1,50; 3,00 mH_2O , sob as concentrações de 0; 2; 4; 8; 16 e 32 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

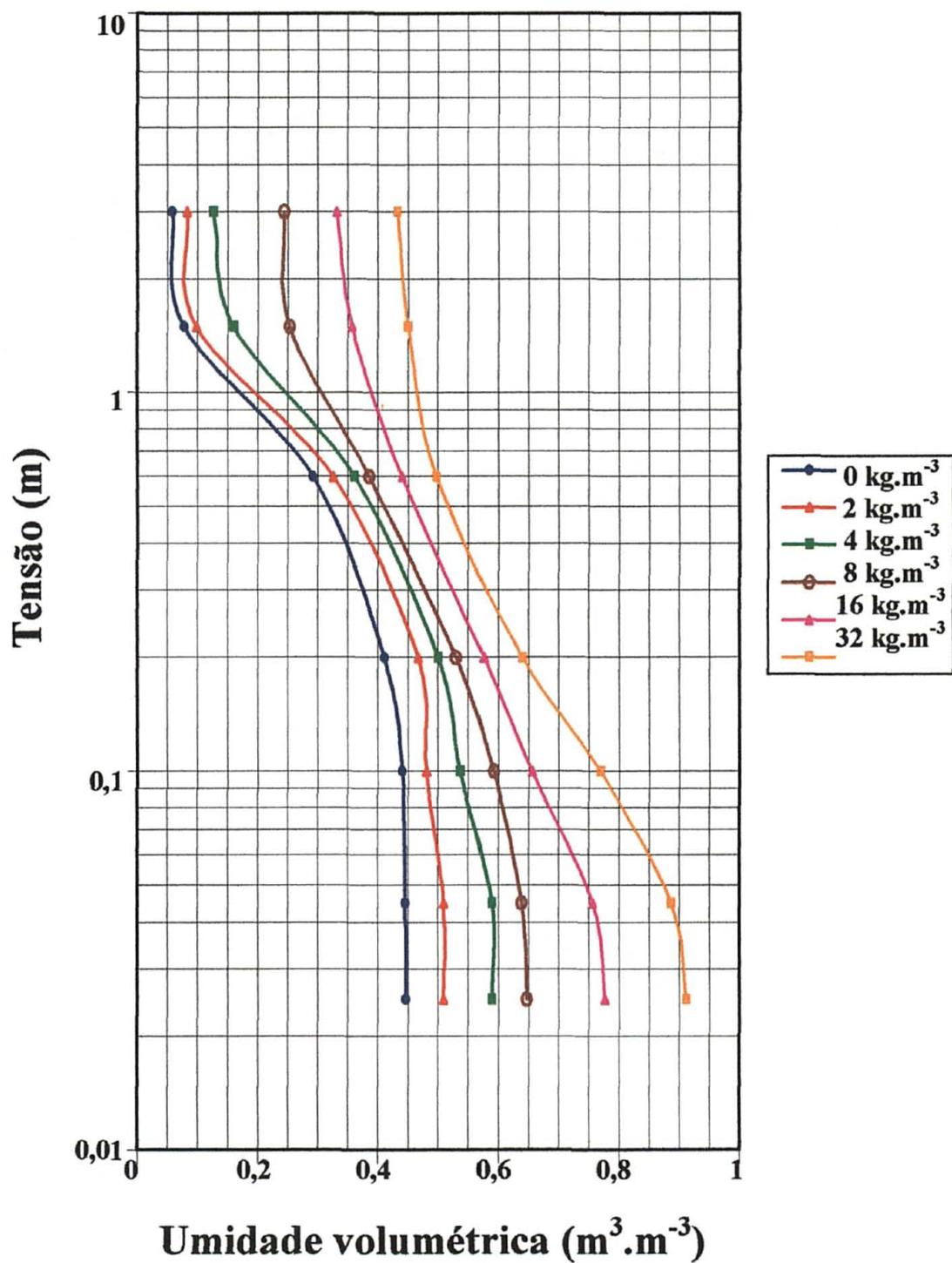


FIGURA 3 – Curvas de retenção de água numa areia marinha nas tensões de 0; 0,025; 0,045; 0,10; 0,20; 0,60; 1,50; 3,00mH₂O, sob as concentrações de 0; 2; 4; 8; 16 e 32 kg.m⁻³

Os polímeros também exerceram influencia sobre a condutividade hidráulica saturada (K_s) produzindo um decréscimo nos valores tanto no solo argiloso quanto da areia marinha. No solo argiloso, o decréscimo ocorreu de forma gradual, embora sua grande expressividade tenha sido para a concentração de 32 kg.m^{-3} . Na areia marinha, os valores do K_s apresentaram pequenas variações até a concentração de 8 kg.m^{-3} , decrescendo proporcionalmente com o aumento da concentração do hidrogel. A partir dessa concentração diminuíram de modo altamente significativo tornando-se aproximadamente cinco vezes menor para a concentração de 32 kg.m^{-3} .

Quadro 4 - Valores médios (média de cinco repetições) da condutividade hidráulica saturada (K_s), calculados a partir dos resultados experimentais obtidos num permeâmetro de carga constante, por concentração de polímero, para os dois meios porosos.

Concentração de polímero (kg.m^{-3})	K_s do solo argiloso (m.s^{-1})	K_s da areia marinha (m.s^{-1})
0	$4,38 \times 10^{-4}$	$1,63 \times 10^{-4}$
2	$3,05 \times 10^{-4}$	$1,37 \times 10^{-4}$
4	$2,34 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-4}$
8	$2,25 \times 10^{-4}$	$0,59 \times 10^{-4}$
16	$2,13 \times 10^{-4}$	$0,46 \times 10^{-4}$
32	$1,03 \times 10^{-4}$	$0,34 \times 10^{-4}$

Utilizando os valores experimentais da curva de retenção foram calculados, por regressão não linear, conforme BORATTO (1984), os parâmetros independentes da equação(4): θ_r , θ_s , α , n , m para o solo argiloso e a areia marinha.

Quadro 5 - Parâmetros da equação (4) para o solo argiloso.

Concentração (kg.m ⁻³)	α (m ⁻¹)	m	n	θ_r (m ³ . m ⁻³)	θ_s (m ³ . m ⁻³)	r ²
0	3,824	0,747	3,986	0,278	0,737	1,000
2	4,489	0,652	2,872	0,306	0,773	0,998
4	3,749	0,632	2,713	0,334	0,860	0,995
8	6,990	0,567	2,311	0,354	0,878	0,999
16	8,343	0,556	2,250	0,418	0,903	0,995
32	8,909	0,535	2,149	0,508	0,941	0,996

Quadro 6 - Parâmetros da equação (4) para a areia marinha.

Concentração (kg.m ⁻³)	α (m ⁻¹)	m	n	θ_r (m ³ . m ⁻³)	θ_s (m ³ . m ⁻³)	r ²
0	2,528	0,628	2,688	0,046	0,447	0,998
2	1,543	0,764	4,233	0,059	0,509	0,998
4	1,922	0,694	3,267	0,118	0,589	0,998
8	6,990	0,563	2,286	0,338	0,650	0,999
16	9,354	0,593	2,459	0,368	0,783	0,998
32	9,977	0,580	2,383	0,459	0,922	0,999

Os quadros revelam um aumento crescente nos valores α , θ_r e θ_s a partir da concentração de 8 kg.m⁻³, nos dois meios porosos.

Os coeficientes de determinação (r²) foram altamente significativos para todas as concentrações de polímeros.

De posse dos valores de θ_r , θ_s , α , n , m e do K_s , foi calculada a condutividade hidráulica em função da umidade (θ) pela expressão (VAN GENUCHTEN, 1980):

$$(10) \quad K(\theta) = K_s \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right]^{1/2} \left\{ 1 - \left[1 - \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right]^{1/m} \right]^m \right\}^2$$

onde, m ($m = 1 - 1/n$), θ_s e θ_r são parâmetros independentes estimados pelo ajuste dos dados observados à equação.

Essa equação permitiu elaborar as curvas das Figuras de 4 a 9 que representam a condutividade hidráulica em função da umidade volumétrica nos dois meios porosos, para as concentrações de 0; 2; 4; 8; 16 e 32 kg.m⁻³, respectivamente.

É possível observar, por meio dessas figuras, que com o aumento das concentrações de polímero as curvas da areia marinha foram se aproximando gradativamente das do solo argiloso sobrepondo-se a partir das concentrações de 16 kg.m⁻³. Isso demonstra que o efeito do polímero sobre a retenção de água não foi igual para os dois meios porosos, sendo maior para a areia marinha do que para o solo argiloso.

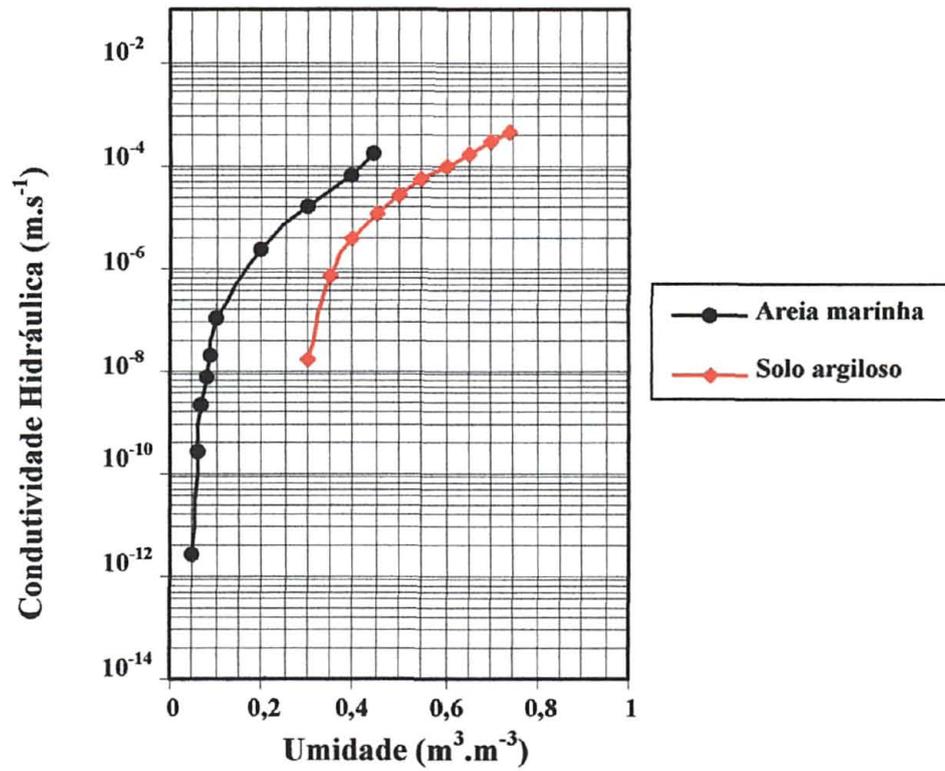


FIGURA 4 – Condutividade Hidráulica em função do θ para a concentração de 0 kg.m^{-3} de polímero para os dois meios porosos.

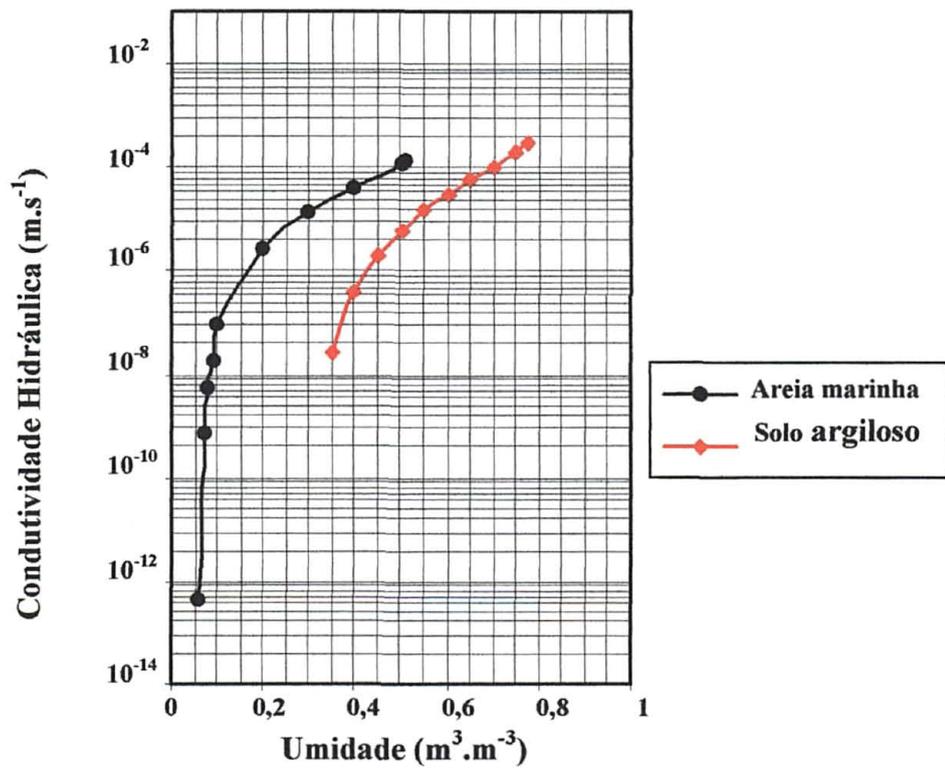


FIGURA 5 – Condutividade Hidráulica em função do θ para a concentração de 2 kg.m^{-3} de polímero para os dois meios porosos.

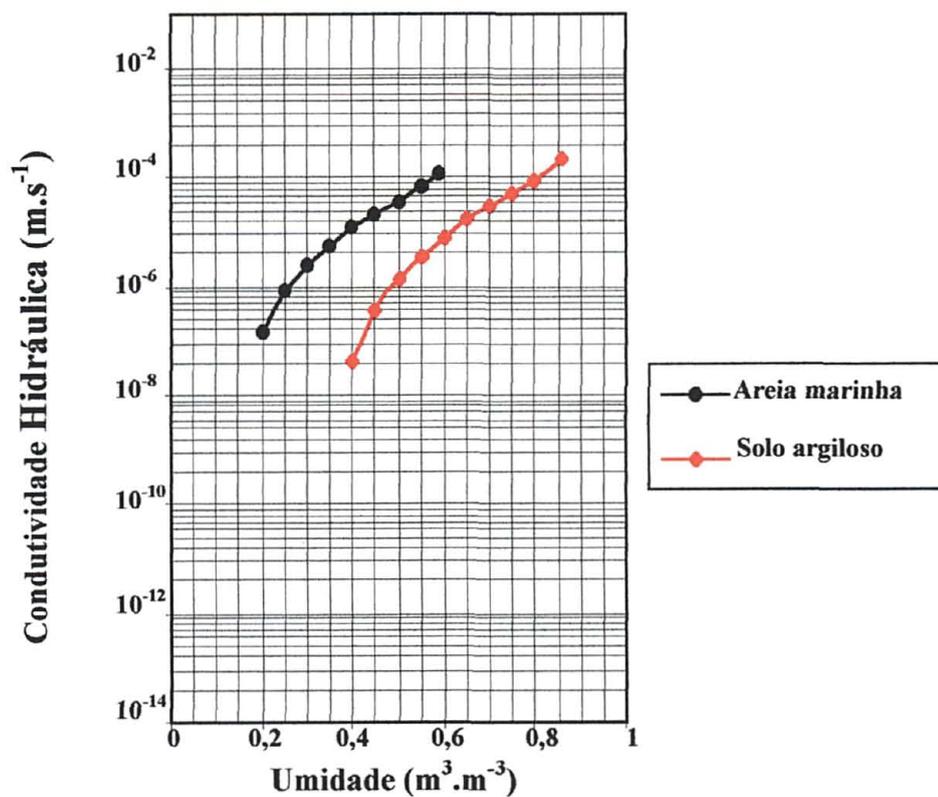


FIGURA 6 – Condutividade Hidráulica em função do θ para a concentração de 4 kg.m^{-3} de polímero para os dois meios porosos.

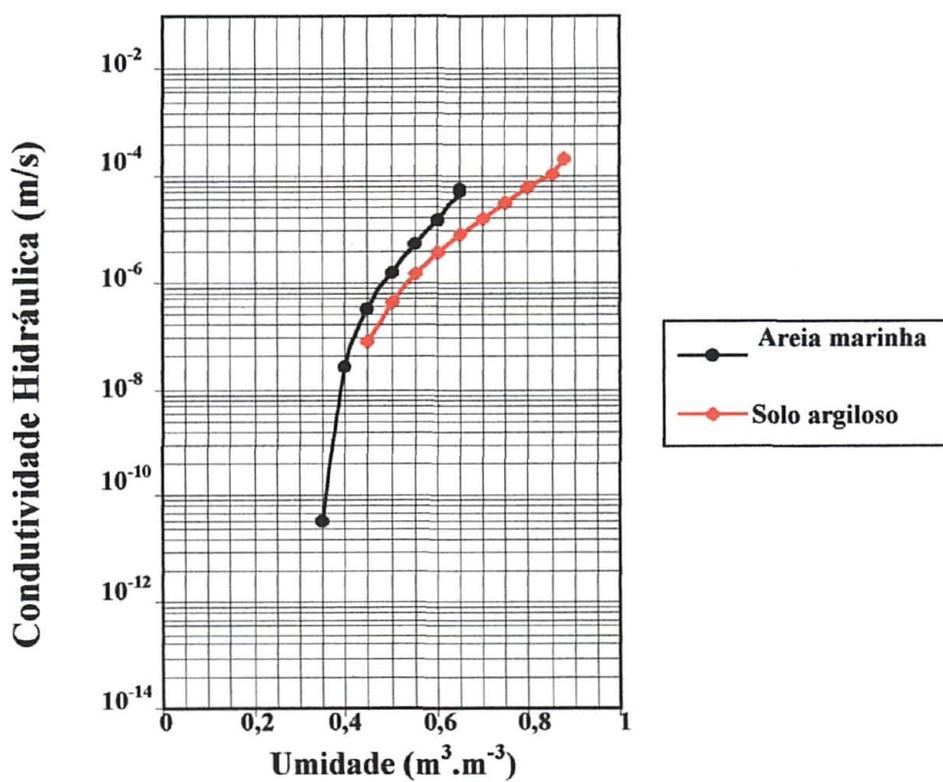


FIGURA 7 – Condutividade Hidráulica em função do θ para a concentração de 8 kg.m^{-3} de polímero para os dois meios porosos.

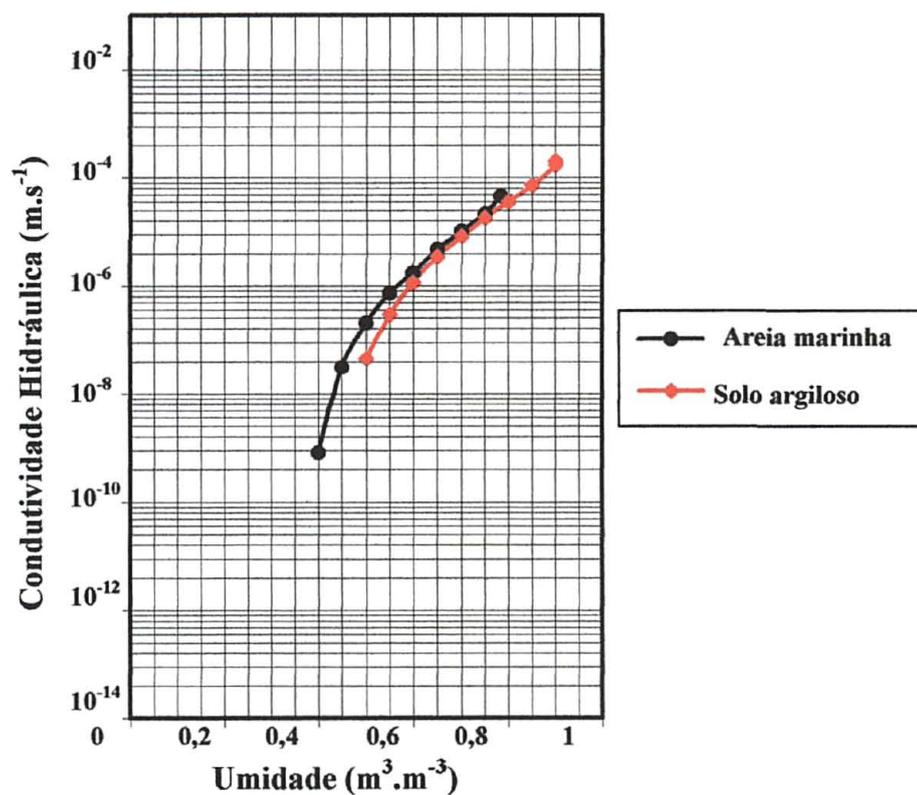


FIGURA 8 – Condutividade Hidráulica em função do θ para a concentração de 16 kg.m^{-3} de polímero para os dois meios porosos.

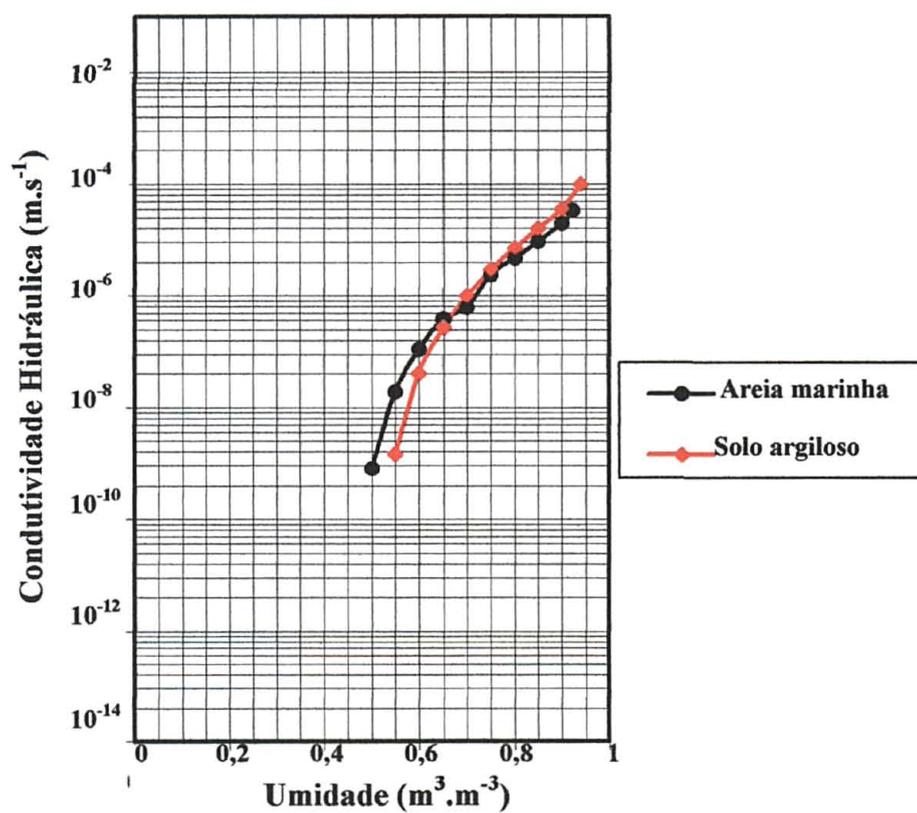


FIGURA 9 – Condutividade Hidráulica em função do θ para a concentração de 32 kg.m^{-3} de polímero para os dois meios porosos.

Utilizando os valores dos parâmetros independentes da equação (4): θ_r , θ_s , α , n e m , bem como os valores médios da condutividade hidráulica saturada e da massa específica do solo seco, foram elaborados os gráficos das Figuras de 10 a 16, os quais relacionam essas grandezas nos dois meios porosos. O método utilizado para a elaboração dos gráficos foi a regressão não linear, e para a análise dos dados, o teste análise de duas amostras, ambos do programa estatístico Statgraphics.

Os gráficos, demonstram a boa correlação entre os parâmetros independentes dos dois meios porosos e confirmam a influência dos polímeros sobre os mesmos. Contudo, de forma geral, os efeitos foram sempre mais pronunciados na areia marinha do que no solo argiloso.

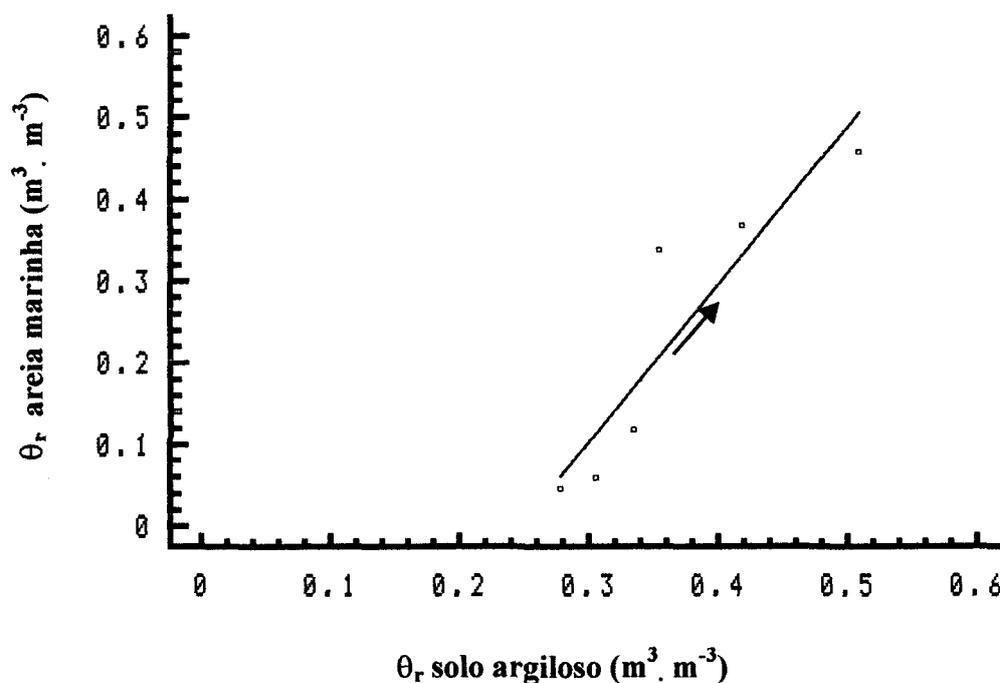


FIGURA 10. Valores de umidade residual (θ_r) da areia marinha em função dos valores do solo argiloso. A seta indica o sentido do aumento de concentração de polímeros.

A Figura 10 permite observar que em condições naturais o solo argiloso retém mais água residual do que a areia marinha (o θ_r do solo argiloso é aproximadamente seis vezes maior do que o θ_r da areia marinha). Com a adição do polímero, o incremento na retenção de água na areia marinha foi cerca de 2,0 vezes maior do que no solo argiloso, o que demonstra que o condicionador não produziu o mesmo efeito nos dois meios porosos. A análise estatística revelou que o θ_r foi estatisticamente diferente, nos dois meios porosos, ao nível de 5% de significância.

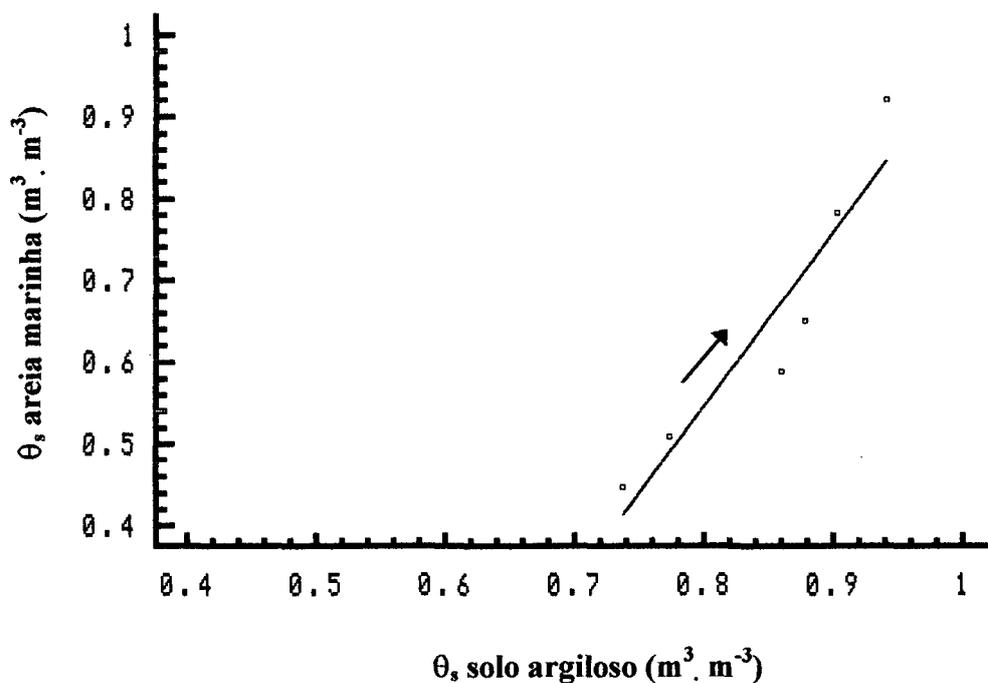


FIGURA 11. Valores de umidade de saturação (θ_s) da areia marinha em função dos valores do solo argiloso. A seta indica o sentido do aumento de concentração de polímeros.

A Figura 11 revela para o θ_s , um comportamento semelhante ao do θ_r . A umidade de saturação da testemunha, no solo argiloso, é aproximadamente 1,7 vezes maior do que a da testemunha na areia marinha. Após receber o hidrogel, a retenção de água aumentou mais rapidamente na areia, tornando-se aproximadamente 2,0 vezes maior do que no solo argiloso.

A análise estatística demonstrou que a umidade de saturação de ambos os meios porosos foi estatisticamente diferente, ao nível de 5% de significância.

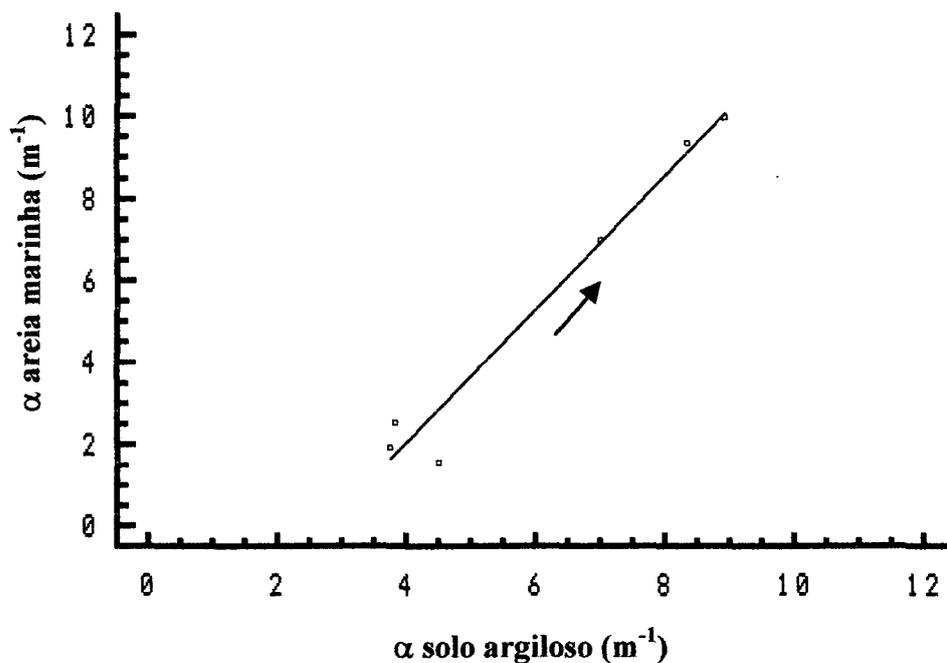


FIGURA 12. Valores do parâmetro independente α da areia marinha em função dos valores do solo argiloso. A seta indica o sentido do aumento de concentração de polímeros.

Em condições naturais o α do solo argiloso é ligeiramente maior do que o da areia marinha. Com a adição de polímeros ambos aumentaram e o α da areia marinha tornou-se superior ao do solo argiloso. Mesmo assim, a análise estatística dos valores de α para os dois meios porosos revelou não haver diferença entre ambos, ao nível de 5% de significância.

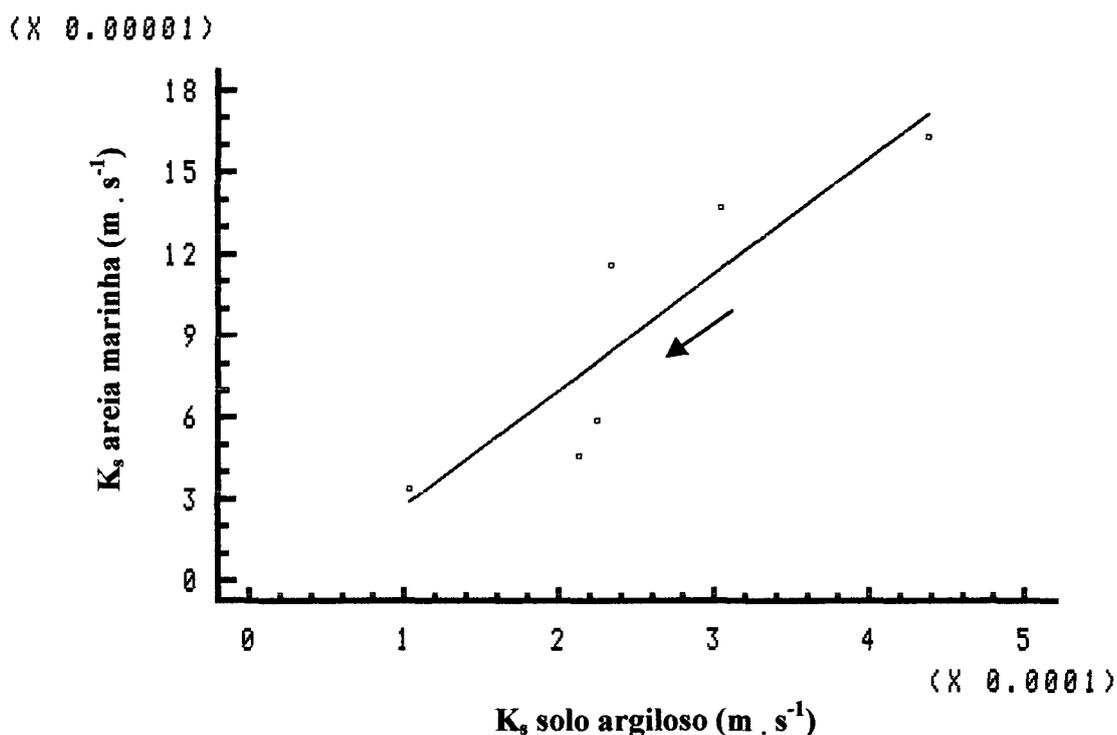


FIGURA 13. Valores da condutividade hidráulica saturada (K_s) da areia marinha em função dos valores do solo argiloso. A seta indica o sentido do aumento de concentração de polímeros.

A Figura 13 mostra que a aplicação de polímeros reduziu a condutividade hidráulica nos dois meios porosos. Os valores médios da condutividade hidráulica foram aproximadamente 2,7 vezes maior no solo argiloso do que na areia marinha. Para a concentração de polímero máxima testada, $32 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, o valor do K_s caiu de $4,38 \times 10^{-4}$ para $1 \times 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ no solo argiloso de $16,3 \times 10^{-5}$ para $3,4 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na areia marinha, provocando uma queda na condutividade hidráulica 2,3 vezes maior no solo argiloso do que na areia marinha.

A análise estatística confirmou que, os valores do K_s são estatisticamente diferentes para os dois meios porosos, ao nível de 5% de significância.

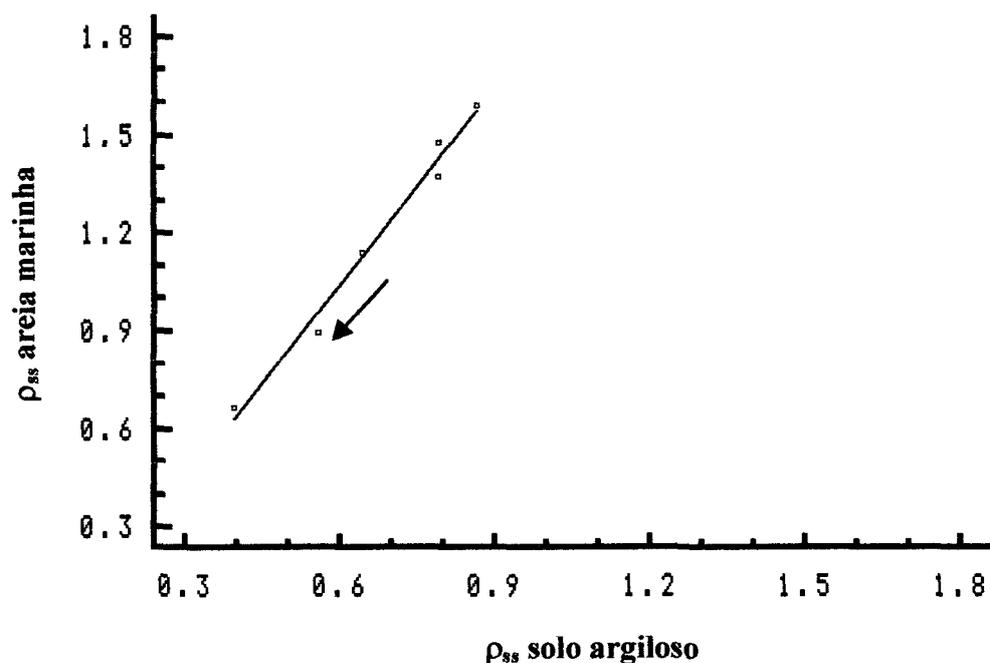


FIGURA 14. Valores da massa específica do solo seco (ρ_{ss}) da areia marinha em função dos valores do solo argiloso. A seta indica o sentido do aumento de concentração de polímeros.

A Figura 14 mostra que a adição do polímero provocou decréscimo na massa específica do solo seco para os dois meios porosos. Esse decréscimo é cerca de 2 vezes maior para a areia marinha do que para o solo argiloso. Esses resultados confirmam as observações feitas por TAYEL et al. (1981).

A análise estatística revelou que a massa específica do solo seco dos dois meios porosos foi estatisticamente diferente, ao nível de 5% de significância.

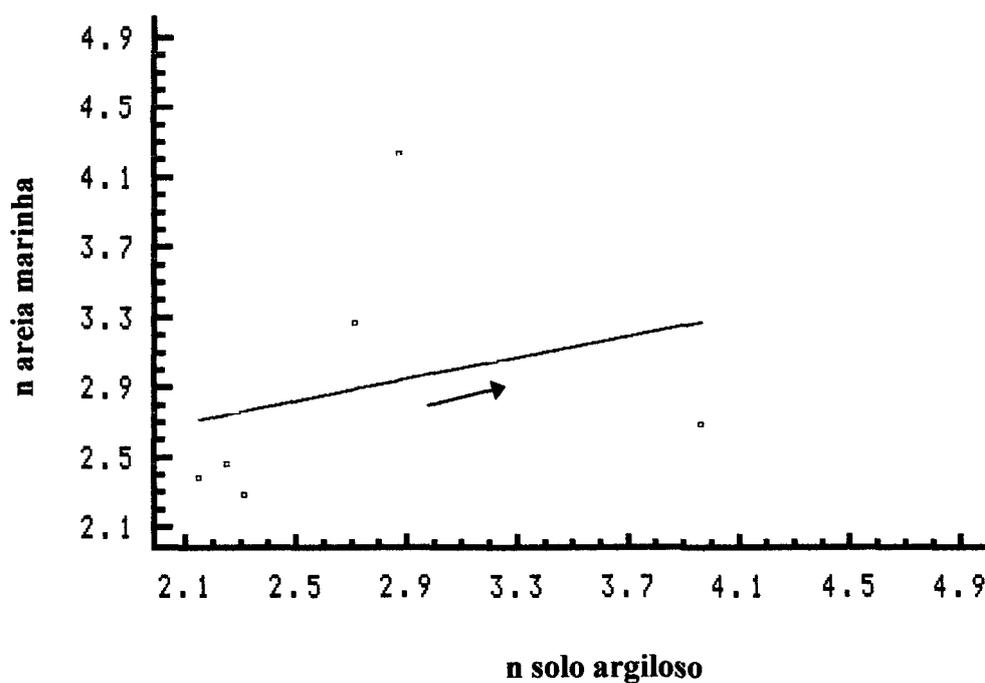


FIGURA 15. Valores do parâmetro independente n da areia marinha em função dos valores do solo argiloso. A seta indica o sentido do aumento de concentração de polímeros.

A Figura 15 demonstra falta de correlação entre as variáveis independentes n , nos dois meios porosos.

A análise estatística não registrou diferenças estatísticas, ao nível de 5% de significância, entre os dois meios porosos, para a variável independente n .

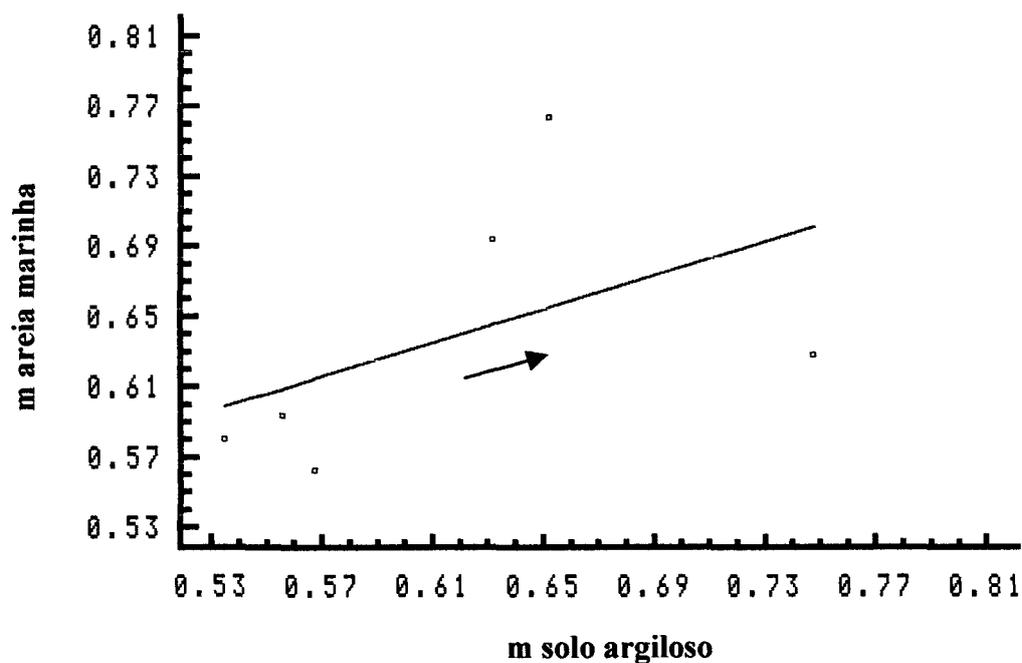


FIGURA 16. Valores do parâmetro independente m da areia marinha em função dos valores do solo argiloso. A seta indica o sentido do aumento de concentração de polímeros.

A variável independente m possui comportamento equivalente ao da variável n . Em ambas evidencia-se que a adição de polímeros não produziu o mesmo efeito nos dois meios porosos.

A análise estatística não registrou diferenças estatísticas entre os dois meios porosos, para a variável independente m , ao nível de 5% de significância.

4. 2 EFEITO DOS POLÍMEROS NO TAMANHO MÉDIO DE POROS QUE ARMAZENAM MAIS ÁGUA.

Em seu estado natural o valor do diâmetro médio de poros foi 1,4 vezes maior para o solo argiloso do que para a areia marinha. Com a adição do polímero, o mesmo não sofreu alterações significativas para as concentrações inferiores a 8 kg.m^{-3} . A partir destas concentrações, os diâmetros de poros que armazenam mais água tiveram aumentos progressivos nos dois meios porosos. No solo argiloso, o aumento em relação à testemunha foi de 2,20; 2,64 e 2,91 para as concentrações respectivas de 8, 16 e 32 kg.m^{-3} , e na areia de 3,00; 3,85 e 4,20 para as mesma concentrações. O quadro 7 apresenta os valores dos DMP, nas diferentes concentrações de polímero, para os dois meios porosos testados

Quadro 7 - Diâmetro médio de poros que armazenam mais água para o solo argiloso e a areia marinha

Concentração de polímero (kg.m^{-3})	Diâmetro médio de poros	
	Solo argiloso (μm)	Areia marinha (μm)
0	122,0	89,4
2	155,0	48,8
4	132,0	63,8
8	265,8	267,4
16	322,0	344,0
32	354,8	373,2

Estabelecendo uma correlação do diâmetro médio de poros que armazenam mais água (DMP) com a condutividade hidráulica saturada (K_s), por regressão linear, observa-se grande diferença na correlação entre os dois meios porosos (89,55% para a areia marinha e 55,35% para o solo argiloso).

A Figura 17 ilustra esta relação para o solo argiloso e a 18 para a areia marinha.

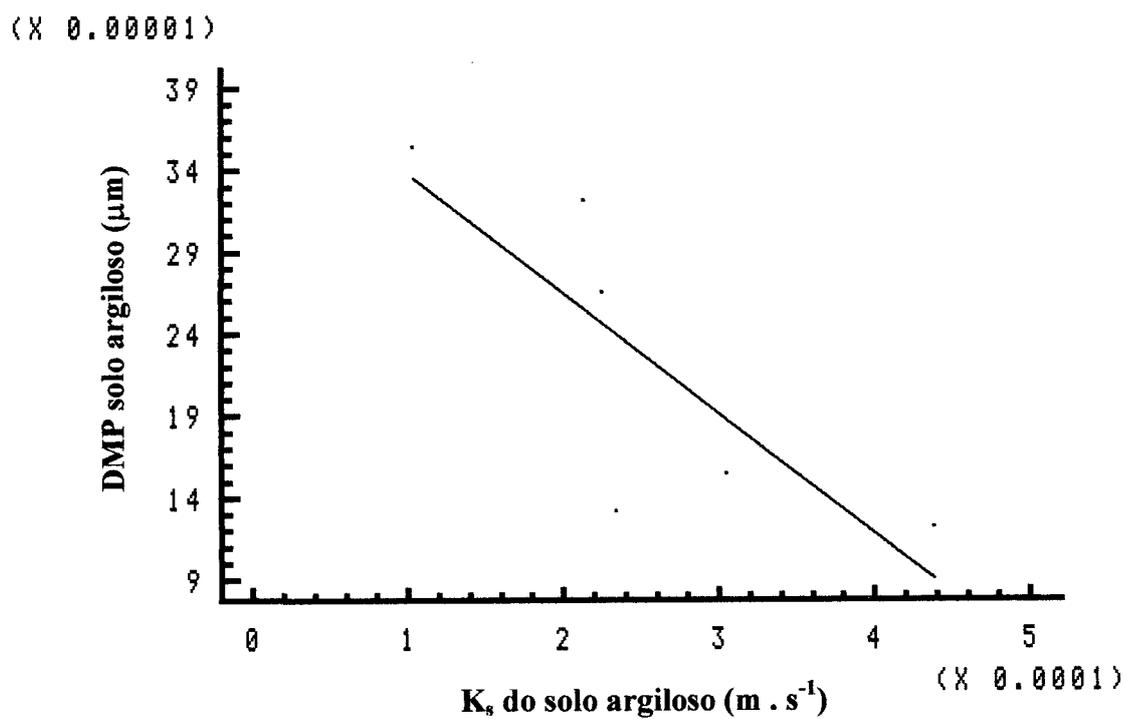


FIGURA 17 – DMPs do solo argiloso em função do K_s .

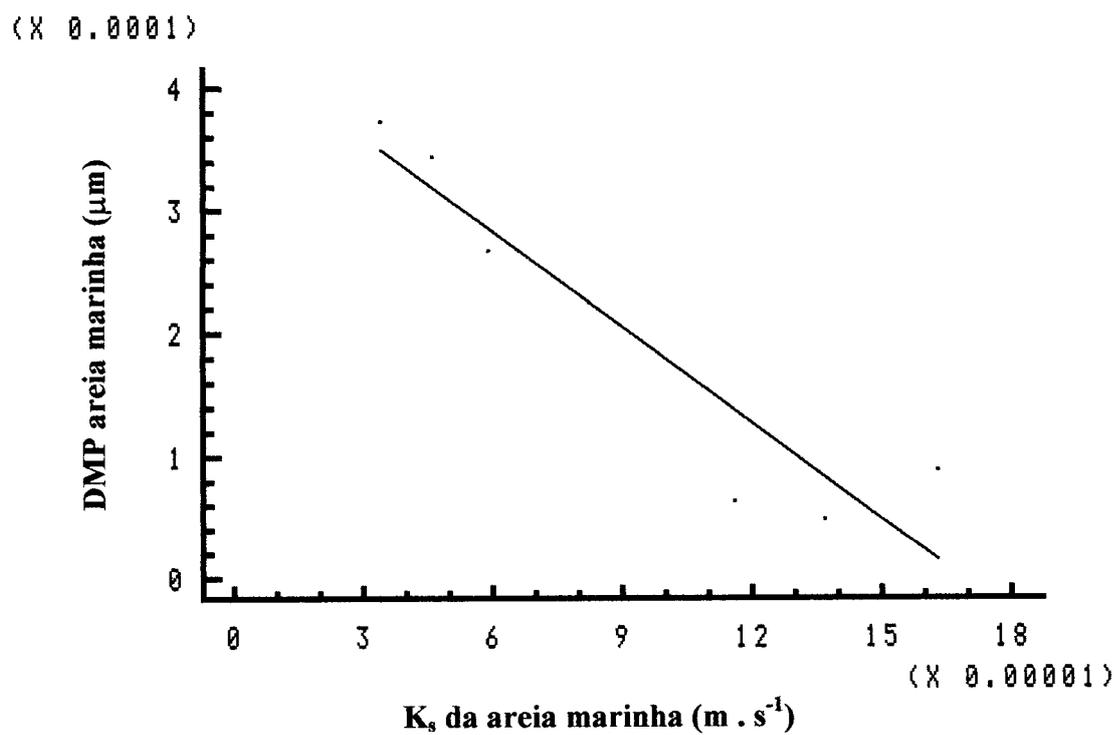


FIGURA 18 – DMPs da areia marinha em função do K_s .

4.3 EFEITO DOS POLÍMEROS NA CONSERVAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO

A seqüência dos experimentos revelou que quanto maior a concentração de polímeros maiores foram os valores dos parâmetros θ_r , θ_s e α , e menores os valores do K_s , nos dois meios porosos. Como consequência, os perfis de umidade desses meios, para qualquer demanda evaporativa simulada, após a 168h de evaporação, na taxa de 5mm/d, a partir de uma umidade inicial correspondente à tensão de 0,01mH₂O, sempre se mostraram mais afastados da origem quanto maior a concentração de polímeros aplicada, como pode ser observado nas figuras 19 e 20. A adição de polímeros aumentou progressivamente a umidade do solo chegando a duplicar a capacidade de armazenamento da água para a concentração de 32 kg.m⁻³, o que mostra a grande capacidade desse material em reter e conservar água no solo por períodos apreciáveis de evaporação. Esse efeito é ainda mais evidente na areia, onde o armazenamento, para o mesmo período de tempo, taxa de evaporação e concentração de polímeros, foi aumentado em cerca de 7,5 vezes.

Portanto, a adição de polímeros nos meios porosos, pode ser considerada uma forma eficaz de reduzir a evaporação de água do solo e melhorar o regime hídrico, concordando com as observações feitas por TAYEL et al. (1981); WANG et al. (1987) e CALLAGHAN et al. (1988).

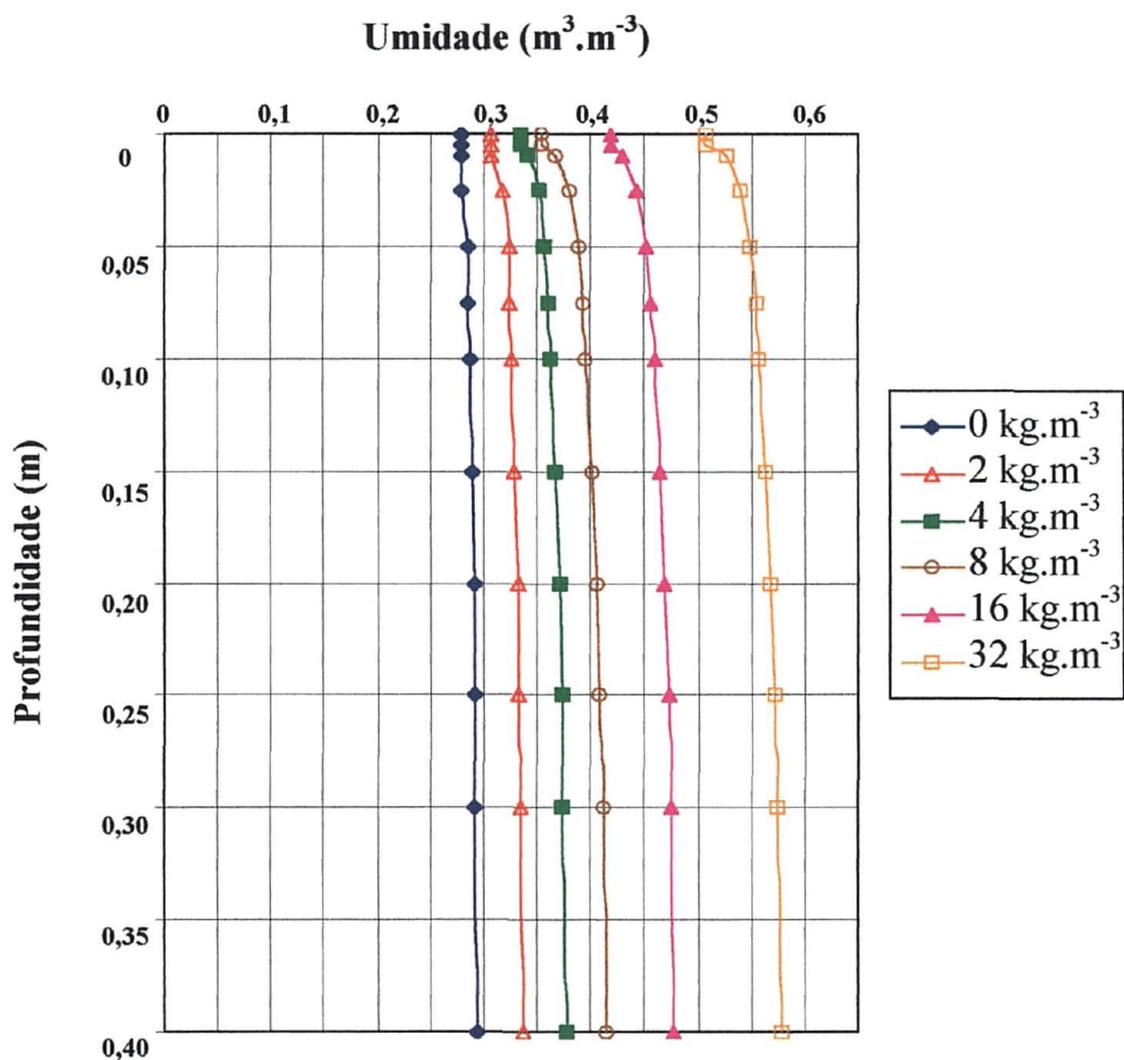


FIGURA 19- Resultados de simulação para os perfis de umidade num latossolo vermelho escuro, textura argilosa, após 168 horas de evaporação, na taxa de 5mm/d, para umidade inicial correspondente à tensão de 0,01 mH_2O , sob diferentes concentrações de polímero.

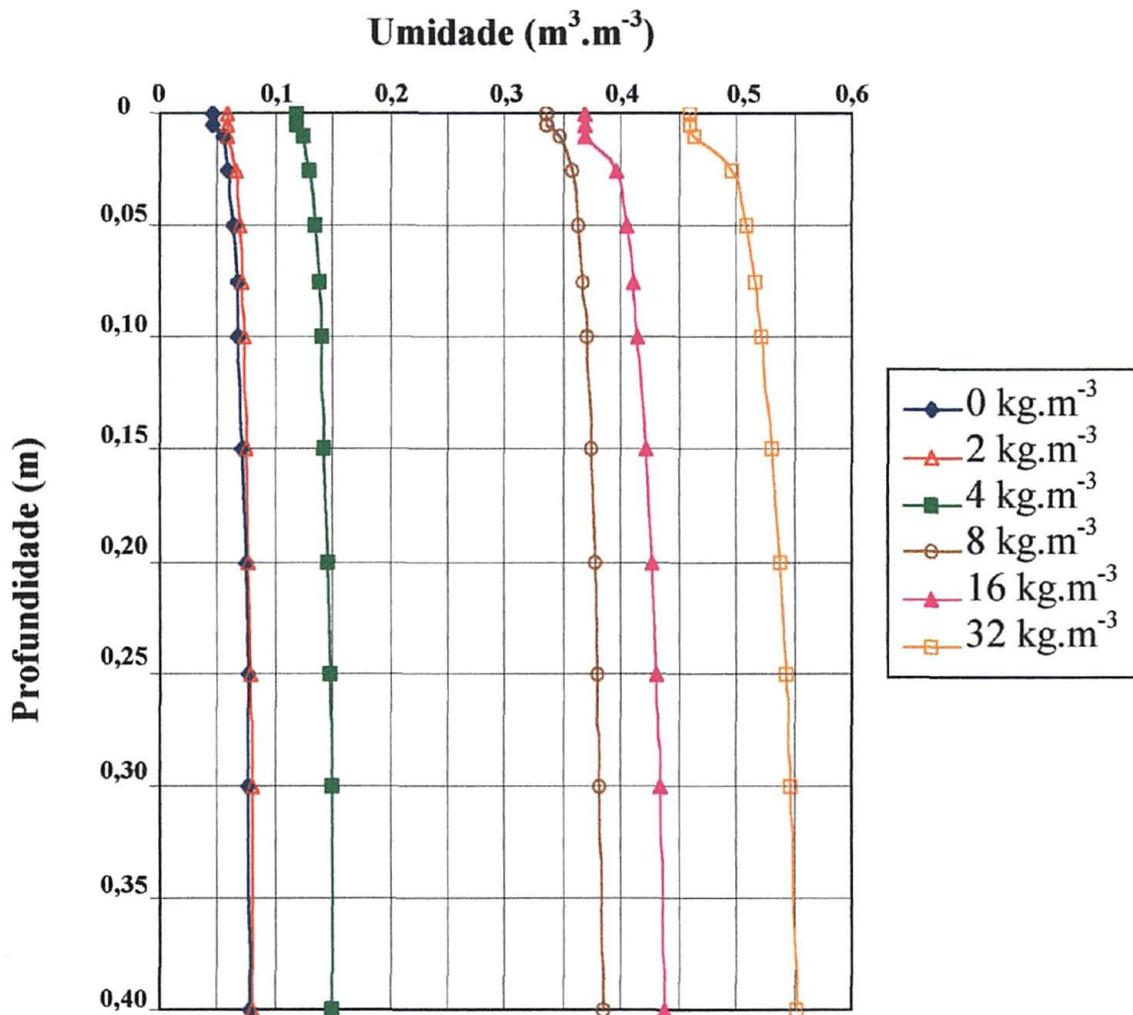


FIGURA 20- Resultados de simulação para os perfis de umidade na areia marinha, após 168 horas de evaporação, na taxa de 5mm/d, para umidade inicial correspondente à tensão de 0,01 mH₂O, sob diferentes concentrações de polímero.

4.4 DOMÍNIO DOS POLÍMEROS SOBRE OS EFEITOS NATURAIS DOS MEIOS POROSOS

Visando identificar a concentração a partir da qual os polímeros exercem influência dominante sobre a natureza dos meios porosos, estabeleceram-se entre o solo argiloso e a areia marinha, as relação dos valores da $p/\rho g$, dos parâmetros independentes da equação (4) e do diâmetro de poros que armazenam mais água.

Os quadros 8 e 9 demonstram que tanto os valores da razão $p/\rho g$ quanto os dos parâmetros independentes: θ_r , θ_s , α , m , n e do DMP decresceram gradativamente com o aumento da concentração de polímeros até a concentração de 8 kg.m^{-3} . A partir desta tornaram-se aproximadamente constantes, tendendo sempre para a unidade.

Quadro 8 - Razão adimensional para $p/\rho g$ do solo argiloso e da areia marinha

Concentração	Tensão mH_2O						
	2,5	4,5	10	20	60	150	300
0	1,649	1,643	1,339	1,622	1,425	3,5	6,043
2	1,447	1,458	1,450	1,353	1,181	3,6	5,186
4	1,465	1,497	1,395	1,351	1,236	2,34	2,831
8	1,351	1,350	1,315	1,254	1,105	1,092	1,047
16	1,153	1,133	1,182	1,268	1,153	1,176	1,136
32	1,021	1,041	1,058	1,148	1,137	1,128	1,107

Quadro 9 - Razão adimensional dos parâmetros independentes: θ_r , θ_s , α , m , n e do DMP entre o solo argiloso e a areia marinha

Concentração	α	m	n	θ_r	θ_s	DMP
0	1,513	1,189	1,483	6,043	1,649	1,365
2	2,909	0,853	0,678	5,186	1,447	3,176
4	1,951	0,911	0,830	2,831	1,465	2,069
8	1,00	0,1,007	1,011	1,047	1,351	0,994
16	0,892	0,938	0,915	1,136	1,153	0,936
32	0,893	0,922	0,902	1,107	1,021	0,951

A Figura 21 permite visualizar graficamente os resultados das relações supra citadas.

Deste modo, identifica-se o domínio do efeito dos polímeros sobre as características naturais dos meios porosos.

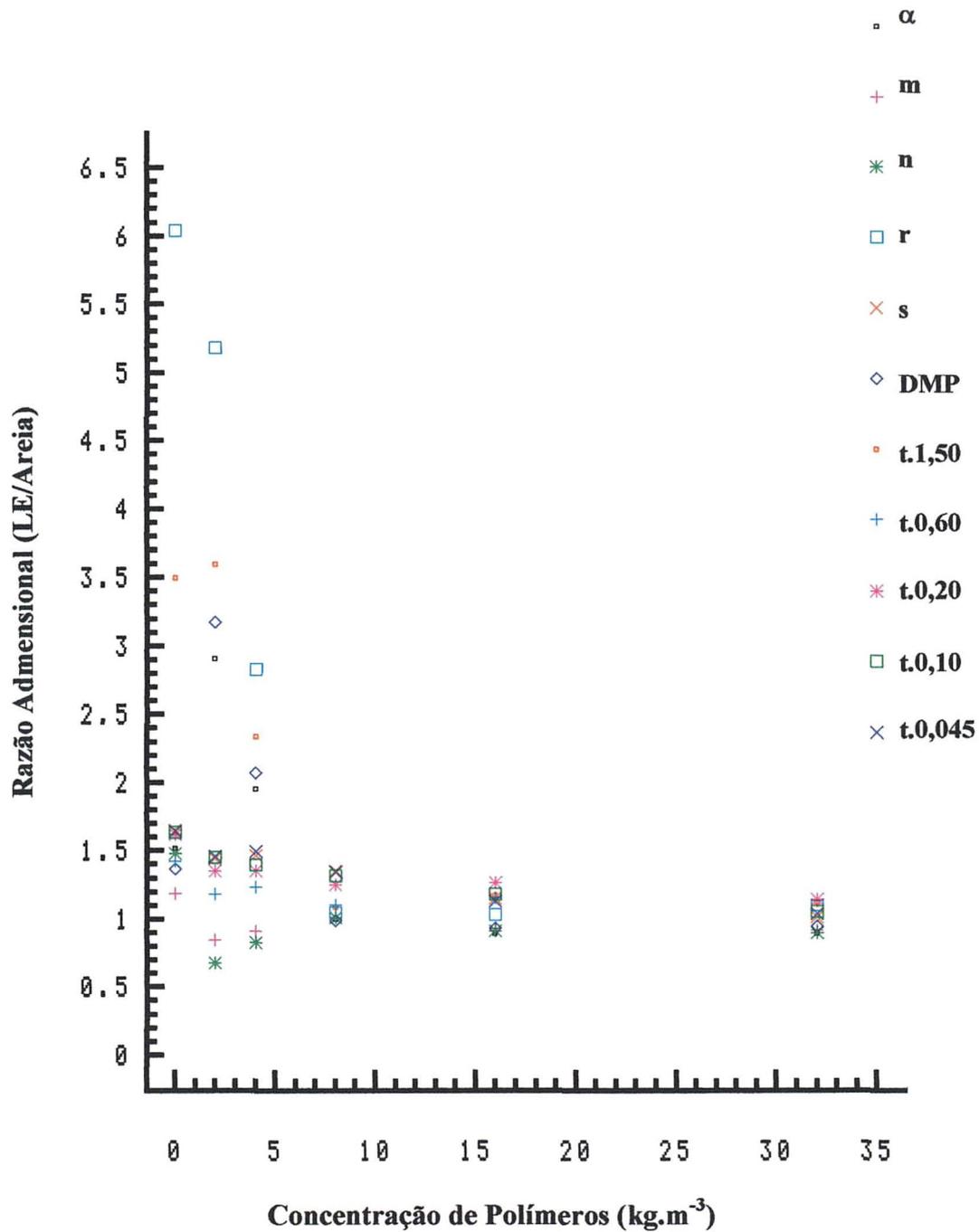


FIGURA 21 – Razão entre o solo argiloso e a areia marinha para os parâmetros independentes (α , m , n , θ_r e θ_s), o DMP e as tensões (1,50; 0,60; 0,20; 0,10 e 0,045 mH₂O).

5. CONCLUSÕES

O efeito dos polímeros sobre as propriedades físicas e hidráulicas dos dois meios porosos foi consideravelmente marcante.

A capacidade de retenção de água no solo argiloso, para a concentração de 32 kg.m^{-3} foi acrescida cerca de 2 vezes, enquanto que para a areia marinha esse valor foi de 7,5 vezes.

Os parâmetros independentes θ_r , θ_s e α aumentaram com o aumento da concentração de polímeros, enquanto que os valores da massa específica do solo seco e da condutividade hidráulica decresceram progressivamente.

Os valores dos diâmetros de poros que armazenam mais água foram bem superiores quando da incorporação de polímeros, para os dois meios porosos, chegando a aumentar o diâmetro em até cerca de 4 vezes.

Os perfis de umidade resultantes da simulação do processo de evaporação da água para uma demanda de 5 mm/d , por 168 horas, demonstraram que a maior concentração testada duplicou a capacidade de armazenamento de água para o solo argiloso, enquanto que na areia marinha esta capacidade foi aumentada em 7,5 vezes.

De modo geral, a partir das concentrações de 8 kg.m^{-3} , as propriedades físicas e hidráulicas dos dois meios porosos foram dominadas pelo efeito dos polímeros.

6. RECOMENDAÇÕES

Considerando-se que o presente trabalho foi apenas o início de um estudo sobre os efeitos de polímeros hidroretentores em dois meios porosos distintos e que no decorrer do mesmo observaram-se aspectos importantes, sugere-se a sua continuidade com a realização de pesquisas que aprofundem o conhecimento sobre algumas de suas propriedades, tais como:

- Quando hidratado, o polímero apresenta um peso aproximadamente 200 vezes maior. No entanto, se for primeiro incorporado aos meios porosos e só então hidratado, esse aumento será de apenas 2 vezes;
- Quando adicionado ao solo em concentração superior ou igual a 8 kg.m^{-3} as propriedades físicas e hidráulicas deixam de ser características dos meios porosos, sendo dominadas pelo efeito do polímero;
- A sua grande capacidade de expansão, a qual favorece o desagregamento do solo, podendo ou não influenciar o processo erosivo.

ANEXO

Quadro A1 - Valores médios da massa específica do solo seco (ρ_{ss}) para o solo argiloso e areia marinha.

Concentração de polímero (kg/m ³)	ρ_{ss} solo argiloso (kg/m ³)	ρ_{ss} areia marinha (kg/m ³)
0,00	980	1820
2,00	950	1705
4,00	790	1639
8,00	740	1273
16,00	620	1036
32,00	450	756

Quadro A2 - Valores médios da umidade de saturação para o solo argiloso e areia marinha.

Concentração de polímero (kg/m ³)	Solo argiloso (m ³ /m ³)	Areia marinha (m ³ /m ³)
0,00	0,737	0,447
2,00	0,773	0,509
4,00	0,860	0,589
8,00	0,878	0,650
16,0	0,903	0,783
32,0	0,941	0,922

Quadro A3 - Valores médios da umidade volumétrica, $\theta(\psi_m)$, ajustados à equação de VAN GENUCHTEN (1980) para o solo argiloso.

Concentração de polímero (kg/m ³)	Tensão, mH ₂ O						
	0,025	0,045	0,10	0,20	0,60	1,50	3,00
0,00	0,737	0,737	0,730	0,606	0,336	0,281	0,278
2,00	0,773	0,770	0,746	0,615	0,378	0,319	0,299
4,00	0,830	0,807	0,768	0,629	0,417	0,341	0,3220
8,00	0,873	0,859	0,781	0,656	0,432	0,378	0,354
16,0	0,895	0,876	0,783	0,668	0,482	0,439	0,427
32,0	0,932	0,911	0,824	0,699	0,568	0,529	0,517

Quadro A4 - Valores do $\theta(\psi_m)$ ajustados à equação de VAN GENUCHTEN (1980) para a areia marinha.

Concentração de polímero (kg/m ³)	Tensão, mH ₂ O						
	0,025	0,045	0,10	0,20	0,60	1,50	3,00
0,00	0,447	0,446	0,441	0,411	0,292	0,078	0,058
2,00	0,509	0,509	0,481	0,467	0,326	0,098	0,082
4,00	0,589	0,589	0,537	0,500	0,361	0,160	0,127
8,00	0,647	0,638	0,592	0,530	0,386	0,353	0,244
16,0	0,776	0,756	0,656	0,576	0,441	0,357	0,332
32,0	0,912	0,886	0,769	0,640	0,498	0,450	0,433

Quadro A5 - Valores médios da umidade gravimétrica para o solo argiloso.

Concentração de polímero (kg/m ³)	Tensão, mH ₂ O						
	0,025	0,045	0,10	0,20 m	0,60	1,50	3,00
0,00	0,85	0,85	0,83	0,75	0,37	0,33	0,32
2,00	0,98	0,95	0,93	0,81	0,47	0,41	0,39
4,00	1,09	1,13	1,10	0,96	0,57	0,47	0,42
8,00	1,37	1,34	1,20	0,98	0,67	0,59	0,55
16,0	1,62	1,54	1,34	1,08	0,84	0,77	0,75
32,0	2,38	2,35	2,19	1,87	1,45	1,34	1,29

Quadro A6 - Valores médios da umidade gravimétrica para a areia marinha.

Concentração de polímero (kg/m ³)	Tensão, mH ₂ O						
	0,025	0,045	0,10	0,20	0,60	1,50	3,00
0,00	0,28	0,28	0,27	0,25	0,13	0,05	0,03
2,00	0,35	0,34	0,34	0,33	0,24	0,06	0,04
4,00	0,43	0,42	0,42	0,41	0,27	0,11	0,09
8,00	0,57	0,56	0,51	0,44	0,34	0,30	0,29
16,0	0,88	0,86	0,73	0,59	0,45	0,41	0,39
32,0	1,39	1,34	1,15	0,94	0,76	0,69	0,68

Quadro A7 - Valores médios da umidade volumétrica para o solo argiloso.

Concentração de polímero (kg/m ³)	Tensão, mH ₂ O						
	0,025	0,045	0,10	0,20	0,60	1,50	3,00
0,00	0,74	0,73	0,72	0,65	0,32	0,28	0,28
2,00	0,77	0,75	0,73	0,64	0,37	0,32	0,31
4,00	0,86	0,89	0,87	0,76	0,45	0,37	0,34
8,00	0,88	0,86	0,77	0,63	0,43	0,38	0,35
16,0	0,90	0,87	0,75	0,68	0,47	0,43	0,42
32,0	0,94	0,93	0,81	0,71	0,57	0,5	0,51

Quadro A8 - Valores médios da umidade volumétrica para a areia marinha.

Concentração de polímero (kg/m ³)	Tensão, mH ₂ O						
	0,025	0,045	0,10	0,20	0,60	1,50	3,00
0,00	0,45	0,45	0,44	0,39	0,22	0,08	0,05
2,00	0,51	0,49	0,49	0,49	0,36	0,09	0,06
4,00	0,59	0,58	0,58	0,56	0,36	0,16	0,12
8,00	0,65	0,64	0,59	0,50	0,39	0,35	0,34
16,0	0,78	0,77	0,65	0,52	0,40	0,36	0,35
32,0	0,92	0,89	0,76	0,62	0,50	0,47	0,45

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ADAMS, J. C.; LOCKABY, B. G. Commercially produced super absorbent material increases water – holding capacity of soil medium. **Tree-Planters**, v. 38, p. 24-25, 1987.
- 2 AZZAM, R. A. I. Polymeric conditioner gels for desert soils. **Commun. Soil Sci. Plant**, v. 14, p. 739-760, 1983.
- 3 BAASIRI, M.; RYAN, J.; MUCHEIK, M.; HARIK, S. N. Soil application of a hydrophilic conditioner in relation to moisture, irrigation frequency and crop growth. **Soil Sci. Plant**, v. 17, p. 573-589, 1986.
- 4 BHARAMBE, P. R.; RODGE, R. P.; AMBEGANOKAR, P. R.; OZA, S. R. Effects of Jalshakti na Rhizobium application on yields and water use efficiency of groundnut. **J. Univ. Agr.**, v. 18, p. 212, 1993.
- 5 BLODGETT, A. M.; BEATTIE, D. J.; WHITE, J. W.; ELLIOTT, G.C. Hydrophilic polymers and wetting agents affect absorption and evaporative water loss. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 28, p. 633-635, 1993.
- 6 BORATTO, F. **BASIC para engenheiros e cientistas**. 2. ed. Rio de Janeiro: livros Técnicos e Científicos, 1984. 120p.
- 7 BOWMAN, D. C.; EVANS, R. Y. ; PAUL, J. L. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properteis of gel – amended container media. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 115, p. 382-386, 1990.
- 8 BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos “The nature and properties of soils”**. Trad. BASTOS & Figueiredo, 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. p. 83-123,
- 9 BRES, W.; WESTON, L. A. Influence of gel additives on nitrate, ammonium, and water retention and tomato growth in a soilless medium. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v.28, p. 1005-1007, 1993.
- 10 COTTHEM, W. V.; BEEL, C.; DANNEELS, P.; .KEYZER, J.; VYVEY, Q. Restoring the natural vegetation on strong eroded volcanic soils of Cape Verde (West – Africa). **Soil Tec.**, v. 4, p. 183-189, 1991.

- 11 ELLIOTTI, G. C. Imbibition of water by rockwool – peat container media amended with hydrophilic gel or wetting agent. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v.117, p. 757-761, 1993.
- 12 FLANNERY, R. L.; BUSSCHER, W. J. Use of a synthetic polymer in potting soils to improve water holding capacity. **Soil Sci. Plant** , v. 13 p.103- 111, 1982.
- 13 FONTENO,W. C.; BILDERBACK, T. E. Impact of hydrogel on physical properties of coarse – structured horticultural substrates. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v.118, p. 217-222, 1993.
- 14 FOSTER, W.J.; KEEVER, G. J. Water absorption of hydrophilic polymers (hydrogels) reduced by media amendments. **J. Environ Hort.**, v. 8, p.113-114, 1990.
- 15 GEHRING, J. M.; LEWIS. A. J. III. Effect of hydrogel on wilting and moisture stress of bedding plants. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v.105, p.511-513, 1980.
- 16 JOHNSON, M. S. Effect of soluble salts on water absorption by gel-forming soil conditioners. **J. Sci. Food Agr.**, v. 35, p. 1063-1066, 1984a .
- 17 _____. The effects of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils. **J. Sci. Food Agr.**, v. 35, p. 1196-1200, 1984b.
- 18 KEEVER,G. J.; COBB,G.S.; STEPHENSON, J. C. ; FOSTER, W. .J. Effect of hydrophilic polymer ament on growth of container grown landscape plants. **J. Environ. Hort.**, v. 7, p.52-56, 1989.
- 19 KLUTE, A. Methods of soil analysis, parte I. Physical and mineralogical methods. Monogr. 9, **Amer. Soc. Agr.**, 1188,1986.
- 20 KOBIYAMA, M. **Influência da minhoca louca (Amyntas spp. Rosa2, 1891) sobre o movimento da água no solo, relacionado ao crescimento da bracinga (mimosa scabrella Benth)**. Curitiba, 1994. Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 21 MAQSOOD, A. ; VERPLANCKE, H. Germinação and biomass production as affected by salinty in hidrogel treated sandy soil. **J. Forestry**, v. 44, p. 53-61, 1994.

- 22 MIKKELSEN, R. L.; BEHEL A.D.; WILLIAMS H. M. Addition of gel-forming hydrophilic polymers to nitrogen fertilizer solutions. **Fertilizer-Research**, v. 36, p. 55-61, 1993.
- 23 _____. Using hidrophilic polymers to improve uptake of manganese fertilizers by soybeans. **Fertilizer-Research**, v. 41, p. 8792, 1995.
- 24 MORTVEDT, J. J.; MIKKELSEN, R. L.; KELSOE J. J. Crop response to ferrous sulfate in banded gels of hydrophilic polymers. **J. Soil Sci. Soc. Am.**, v. 56, p. 1319-1324, 1992.
- 25 NISSEN, J. M. Uso de hidrogeles en la produccion de frambuesas (*Rubus idaeus*) del sur de Chile. **Agro Sur**, v. 22, p. 160-164, 1994.
- 26 PASCHOLD, P. J.; KLEBER, J.; ITO, T.; TOGNONI, F.; NAMIKI, T.; NUKAYA, A.; MARUO, T. Produção of vegetable transplants for NFT in pure hydrogel. **Hort. Acta.**, v. 396, p. 297-304, 1995.
- 27 PREVEDELO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, C. L. PREVEDELLO, 1996. 446 p.
- 28 REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Editora Manole Ltda, São Paulo, 1990. 188 p.
- 29 SAMPAT A. G. **Física de Suelos - Principios y Aplicaciones**. Editora Limusa-Wiley, S. A., México, 1973. 351 p.
- 30 SAVE, R.; PERY, M.; MARFA, O.; SERRANO, L. The effect of hydrophilic polymer on plant water status and survival of transplanted pine seedlings. **Hort. Tec.**, v. 5, p. 141-143, 1995.
- 31 SHINDE S. H.; BACHCHHAV M. M. Studies on efficacy of Jalshakti in water management of summer groudnuts. **J. Univ. Agr.**, v.1, p. 478-479, 1993.
- 32 SZMIDT, R. A. K. & GRAHAM, N. B. The effect of poly (ethylene oxide) hydrogel on crop growth under saline condition. **Hort. Acta**, v. 287, p. 211-218, 1991.

- 33 SWIETLIK, D. Effect of soil amentent with viterra hydrogel on establishment of newly-planted grapefruit trees cv ruby red. **Soil Sci. Plant**, v. 20, p. 1697-1705, 1989.
- 34 TAYEL, M. Y.; ABDED F. M.; EL-HADY, O. A. Effect of soil condicioners on plantgrowth and water use efficiency (A green house experiment). **Hort. Acta**, v. 119, p. 223-229, 1981.
- 35 TAYLOR, S. A.; CARY, J. W. Linear equations for the simultaneous flow of water and energy in a continous soil system. **Soil Sci. Proc.**, v.28, p. 167-172, 1964.
- 36 TAYLOR, K. C.; HALFACRE, R. G. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. **J. Amer. Soc. Hort. Sci**, v. 21, p. 1159-1161, 1986.
- 37 VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicing hidraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Sci. Soc. Am.**, v. 44, p.892-898, 1980.
- 38 VOLKMAR, K. M.; CHANG, C. Influence of hydrophilic gel polymers on water relation and growth and yield of barley and canola. **J. Canadian Sci. Plant**, p. 605-611. 1995.
- 39 WANG, Y. T.; GREGG, L. L. Hydrophilic polymers – their response to soil amendmets and effect on properties of a soilless potting mix. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 115, p. 943-948, 1990.
- 40 WARREN F. **Manual de laboratório - Física de Suelos**, Instituto Internacional de Ciências Agrícolas San José, Costa Rica, 1975. 212 p.
- 41 WOODHOUSE, J. M.; JOHNSON, M. S. The effect of gel-forming polymers on seed germination and establishment. **J. Arid Environ**, v. 20, p. 375-380, 1991.