



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E  
QUALIDADE DE ECOSISTEMAS**

**APLICAÇÃO DO MODELO ARYA-PARIS PARA ESTIMAR A  
CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DO ESTADO DA  
BAHIA**

**FELIPE GOMES FREDERICO DA SILVEIRA**

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
JUNHO DE 2013**

APLICAÇÃO DO MODELO ARYA-PARIS PARA ESTIMAR A  
CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DO ESTADO DA  
BAHIA

FELIPE GOMES FREDERICO DA SILVEIRA

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2011

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos.

**ORIENTADOR: LUCIANO DA SILVA SOUZA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS  
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2013

## FICHA CATALOGRÁFICA

S587a

Silveira, Felipe Gomes Frederico da.

Aplicação do Modelo Arya-Paris para estimar a curva de retenção de água em solos do Estado da Bahia / Felipe Gomes Frederico da Silveira. \_ Cruz das Almas, BA, 2013.

74f.; il.

Orientador: Luciano da Silva Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Solos – Porosidade – Compactação. 2.Física do solo – Retenção de água. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

II.Título.


CDD: 631.4

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE  
ECOSSISTEMAS

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE FELIPE  
GOMES FREDERICO DA SILVEIRA



Prof. Dr. Luciano da Silva Souza (Orientador)  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz  
Embrapa Instrumentação Agropecuária



Prof. Dr. Joelito de Oliveira Rezende  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Solos e  
Qualidade de Ecossistemas em \_\_\_\_\_, conferindo o Grau de  
Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em \_\_\_\_\_.

**Dedico,**

A meu pai e minha mãe, os quais amo muito e que são exemplos de conquista em minha vida, a meu irmão, pela amizade e companheirismo, e a minha grande amiga e companheira, Martinha, por todo apoio, compreensão, amor e carinho.

## **AGRADECIMENTOS**

“Tudo posso naquele que me fortalece” (Filipenses, 4:13).

Em primeiro lugar, a Deus, por ter guiado meus passos nessa longa caminhada e por me mostrar a melhor maneira para superar os obstáculos, dando-me forças e iluminando-me, permitindo a conclusão de mais essa etapa em minha vida.

À minha família, em especial meus pais João Frederico Silveira e Neuracy Rosa Gomes da Silveira, que sempre se dedicaram e me ensinaram os valores da vida, incentivando-me desde o primeiro momento da minha vida, e por estar sempre presente no meu crescimento moral e intelectual e por sempre acreditarem em mim.

Ao meu orientador Professor Luciano da Silva Souza, meu grande mestre, que serviu de inspiração para essa conquista, agradeço pelo conhecimento, ensinamentos e pela amizade. Sou grato ao seu apoio e inspiração no amadurecimento dos meus conhecimentos e conceitos. Muito obrigado por todo aprendizado, que vai muito além dos conhecimentos científicos.

À minha melhor amiga e companheira, minha eterna namorada, minha noiva Martinha, um agradecimento especial por toda paciência, tolerância e compreensão nos momentos difíceis, pelo apoio e incentivo e por todo amor dedicado a mim.

A meu querido irmão Fred, grande amigo e companheiro, que sempre confiou no meu potencial e sucesso, e à minha cunhada, Daniela, pelas palavras de incentivo e por todo apoio.

À família Fiais, na figura de tio Orlando e tia Madalena, que se tornaram uma segunda família para mim, pelos quais tenho muito carinho e admiração. Em especial à pequena Laís que na pureza do olhar e do sorriso tem-me ensinado um novo significado para família.

À minha turma de mestrado, Joaquim, Maxssuel, Tâmara, Renata, Adriana, Márcia, Josemário e Jailson, pela convivência e amizade, por compartilhar bons momentos e momentos de dificuldades, e por acreditar que juntos conseguiríamos superar esse desafio.

A todos os meus professores da Graduação e Pós-Graduação, em especial aos professores Dr. Joelito de Oliveira Rezende e Dr. José Fernandes de Melo Filho, pela sabedoria transmitida, pelos conselhos e orientações e por toda contribuição que deram ao meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional durante todo o curso.

Ao Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, por todo apoio e orientação no início do trabalho, sem a ajuda do qual não seria possível a realização desta pesquisa.

Ao Dr. João Mendonça Naime, pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, e ao Dr. Laércio Duarte Souza, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, pela colaboração na realização deste trabalho.

Ao Prof. Alisson Jadavi Pereira da Silva, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, pela considerável ajuda na análise estatística dos dados.

À Coordenação do Mestrado de Solos e Qualidade de Ecossistemas, pelo apoio dado sempre que necessário.

A todos que já falei, agradeço por acreditarem no meu potencial, na minha profissão, nas minhas idéias, nos meus devaneios, principalmente quando nem eu mais acreditava.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	<b>1</b>
ABSTRACT .....	<b>2</b>
1. INTRODUÇÃO .....	<b>3</b>
2. OBJETIVOS .....	<b>7</b>
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	<b>8</b>
3.1 Curva de retenção de água .....	<b>8</b>
3.2 Fatores que influenciam na retenção de água no solo .....	<b>10</b>
3.2.1 Textura do solo .....	<b>10</b>
3.2.2 Estrutura do solo .....	<b>11</b>
3.2.3 Matéria orgânica .....	<b>12</b>
3.3 Obtenção da curva de retenção de água .....	<b>12</b>
3.4 Aplicação de modelos .....	<b>14</b>
3.5 Descrição do Modelo de Arya & Paris (1981) .....	<b>14</b>
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	<b>18</b>
4.1 Solos .....	<b>18</b>



4.2 Análises físicas .....	18
4.2.1 Análise granulométrica .....	18
4.2.1.1 Analisador granulométrico .....	19
4.2.1.2 Densímetro de Bouyoucos .....	19
4.2.2 Densidade do solo e de partículas .....	20
4.2.3 Porosidade total .....	20
4.2.4 Curva de retenção de água .....	20
4.2.4.1 Em laboratório .....	20
4.2.4.2 Modelo de Arya e Paris .....	21
4.3 Processamento analítico dos dados .....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
5.1 Atributos físicos do solo .....	25
5.2 Gráficos de umidade 1:1 .....	26
5.2.1 Solos de textura arenosa.....	26
5.2.2 Solos de textura média.....	29
5.2.3 Solos de textura argilosa.....	31
5.2.4 Solos de textura muito argilosa.....	33
5.2.5 Todos os solos avaliados .....	35
6. CONCLUSÕES .....	38
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	39
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
ANEXOS .....	45

# APLICAÇÃO DO MODELO ARYA-PARIS PARA ESTIMAR A CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DO ESTADO DA BAHIA

Autor: Felipe Gomes Frederico da Silveira

Orientador: Luciano da Silva Souza

## RESUMO

A curva de retenção (CR) de água é um importante atributo do solo pois, além de ser um indicador de qualidade, é fundamental para o estudo da dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera. Como a determinação convencional da CR é trabalhosa e demorada, dificultando o processamento de numerosos conjuntos de amostras, tem-se apelado para sua estimação utilizando funções de pedotransferência. Assim, com esse trabalho objetivou-se aplicar o modelo de Arya-Paris para estimar a CR para solos do Estado da Bahia, com base na análise granulométrica, comparando com a CR determinada. Foram coletadas amostras dos horizontes A e AB e, ou B e, ou C, num total de 16 solos e 62 horizontes. A análise granulométrica foi determinada pelo analisador granulométrico (AG) utilizando atenuação de radiação gama e pelo tradicional método do densímetro de Bouyoucos (DB). Os resultados obtidos revelaram que o modelo de Arya-Paris apresentou melhores previsões da curva de retenção de água para solos de textura argilosa, vindo em seguida a arenosa, média e muito argilosa. Observou-se bom comportamento do modelo Arya-Paris para todos os solos em conjunto. O fator de escalonamento  $\alpha 1$  foi o que proporcionou melhores previsões, vindo em seguida  $\alpha 3$ , com  $\alpha 2$  apresentando comportamento não satisfatório. O método do densímetro de Bouyoucos proporcionou previsões ligeiramente superiores às realizadas com dados do analisador granulométrico.

**Palavras chave:** análise de distribuição de partículas por tamanho, analisador granulométrico, método do hidrômetro de Bouyoucos.

# APPLICATION OF THE ARYA-PARIS MODEL TO ESTIMATE SOIL WATER RETENTION CURVE FOR SOILS OF THE STATE OF BAHIA, BRAZIL

Author: Felipe Gomes Frederico da Silveira

Adviser: Luciano da Silva Souza

## ABSTRACT

Soil water retention curve (SWRC) is an important soil attribute because it's a soil quality indicator and is fundamental to study the water dynamic in soil-plant-atmosphere system. Conventional SWRC determination is laborious and time-consuming, preventing the processing of many sets of samples. This has led to its estimation using pedotransfer functions. With this study aimed to apply Arya-Paris model to SWRC estimate for soils of Bahia State, Brazil, based on soil particle size analysis, compared with SWRC determined. Samples were collected from horizons A and AB and, or B and, or C, for a total of 26 soils and 63 horizons. Particle size analysis was determined by automatic soil particle analyzer based on  $\gamma$ -ray attenuation and traditional Bouyoucos hydrometer method. Arya-Paris model showed better SWRC predictions for clayey soils, followed by sandy, medium and very clayey soils. Good model performance was observed for all soils together. The  $\alpha 1$  scaling factor provided better predictions, followed by  $\alpha 3$ , with  $\alpha 2$  showed unsatisfactory behavior. Bouyoucos hydrometer method gave slightly higher predictions than automatic soil particle size analyzer.

**Keywords:** particle size analysis, automatic soil particle analyzer, Bouyoucos hydrometer method.

## 1. INTRODUÇÃO

A conservação do solo constitui um aspecto de grande relevância para uma produção agrícola sustentável. Assim, o conhecimento de atributos do solo e a busca de tecnologias de informações que contribuam para um adequado manejo do solo e uso da água fazem-se cada vez mais necessários. Dentre esses atributos merece destaque a curva de retenção de água, pela importância que os seus resultados têm para a tomada de muitas decisões relativas à produção agrícola.

A capacidade de um solo em armazenar água para o desenvolvimento das plantas está diretamente relacionada a vários atributos físicos dos solos; entre eles, a curva de retenção ou curva característica potencial-umidade (TORMENA et al., 1998).

A curva de retenção de água expressa a relação entre a umidade do solo e o potencial mátrico (VIEIRA, 2006). Segundo Embrapa (2007) é um excelente indicador físico do solo; no entanto, é de difícil caracterização, tanto pelo tempo que se consome nas análises quanto pela intrínseca influência da histerese (NASCIMENTO, 2009). Tem uma fundamental importância para a agricultura, pois apresenta diversas aplicações práticas, técnicas e científicas, tais como a determinação da capacidade de campo, do ponto de murchamento permanente e da disponibilidade total de água do solo, variáveis indispensáveis para um adequado manejo de irrigação e balanço hídrico no solo (NASCIMENTO, 2009).

O conhecimento dos atributos hídricos do solo é fundamental para o estabelecimento de boas práticas agrícolas, bem como de técnicas de irrigação e drenagem. Entretanto, a determinação convencional da curva de retenção da água no solo é trabalhosa e demorada, o que dificulta análises de numerosos conjuntos de amostras, requeridos pela agricultura de precisão para o manejo do solo.

Segundo Vaz et al. (2005), a curva de retenção de água no solo ou a curva de potencial mátrico por umidade expressa a capacidade do solo para armazenar água para o crescimento vegetal, que é uma propriedade do solo muito importante para irrigação e modelagem hidrológica.

Define-se de maneira mais clara a curva de retenção como sendo a relação funcional entre a quantidade de solução em um volume do solo, em equilíbrio com a pressão aplicada. Essa relação parte do princípio que a água ocupa os espaços porosos do solo sob determinada tensão, o que é dependente da composição granulométrica e do arranjo estrutural do solo, sendo o conteúdo de água do solo inversamente proporcional à pressão aplicada (LIBARDI, 2000)

Vários procedimentos laboratoriais são empregados para a determinação das curvas de retenção de água, mas eles podem ser agrupados basicamente em dois tipos: sucção (funil de placa porosa e mesa de tensão) e pressão (câmara de Richards). Os métodos tradicionais consistem na definição de certo número de pontos experimentais, normalmente selecionados de forma arbitrária, com os quais é traçada uma curva que relaciona a umidade volumétrica retida no solo a uma determinada tensão/pressão. Entretanto, tais métodos apresentam algumas limitações quanto à dificuldade no controle do ponto de equilíbrio entre a tensão/pressão aplicada e a água retida no solo, bem como não possibilitam a distribuição detalhada e contínua (curvas) dos diâmetros das partículas do solo (CRESTANA, 1994; VAZ et al., 1996; VAZ et al., 1997). Outras limitações inerentes aos métodos convencionais se dão pela elevada ocupação de espaço físico nos laboratórios pelos equipamentos necessários, forte dependência da habilidade da pessoa responsável por operar os equipamentos e o elevado prazo de resposta dos laboratórios, que

podem durar até meses para a determinação da curva de retenção (VAZ et al., 1999; NAIME et al., 2001).

Em função das dificuldades experimentais e do longo tempo envolvido na determinação da curva de retenção de água têm-se observado crescente interesse por métodos indiretos de estimação desse atributo do solo, os quais se baseiam em dados de outros atributos do solo, mais fáceis de serem medidos. Dentre esses métodos destacam-se as funções de pedotransferência, as quais são representadas por equações que expressam dependências da retenção da água com atributos básicos disponíveis em levantamentos de solos. Segundo Gregorich (2006), as funções de pedotransferência (FPT) são definidas como funções (modelos de regressões) que transferem propriedades conhecidas do solo para propriedades do solo desconhecidas, com as vantagens de maior facilidade e redução de custos.

Especificamente para a estimação da capacidade de retenção da água no solo são utilizados modelos matemáticos baseados em dados relativamente simples como textura ou distribuição de partículas do solo por tamanho, densidade do solo, densidade de partículas, matéria orgânica e outros atributos básicos (ARYA et al., 1999; PACHEPSKY; RAWLS, 1999). O modelo proposto por Arya & Paris (1981) baseia-se na semelhança entre a forma da distribuição de partículas por tamanho e a da curva de retenção de água.

A retenção de água no solo pode ser influenciada por vários fatores, mas principalmente pela distribuição relativa do tamanho (granulometria), da forma e do arranjo das partículas do solo.

Segundo Reichardt (1985), em elevados teores de água (baixas tensões), onde os fenômenos de capilaridade assumem grande importância na determinação do potencial mátrico, a curva de retenção de água fica na dependência da disposição e do tamanho dos poros, ou seja, a curva é função da estrutura do solo; em situações de baixos teores de água (altas tensões), o potencial mátrico praticamente independe da geometria de poros, prevalecendo as forças de adsorção exercidas pela superfície das partículas do solo, sendo a estrutura de pouca importância em sua determinação. Nesse aspecto, Reichardt & Timm (2004) afirmam que a textura merece atenção especial, sendo o seu conhecimento de fundamental importância para a determinação da

área de contato entre as partículas sólidas e a água, determinando preponderantemente a distribuição do diâmetro dos poros.

Dessa forma, o modelo desenvolvido por Arya & Paris (1981) utiliza a similaridade entre as funções que descrevem a distribuição de partículas por tamanho e a curva de retenção da água no solo para obter essa última função indiretamente. O tamanho dos poros é associado a certo volume de poros, determinado por meio da técnica de escalonamento (ARYA et al., 1999).

Em função disso o presente trabalho foi executado visando os objetivos apresentados em seguida.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a aplicação do modelo de Arya & Paris (1981) para estimar a curva de retenção de água em solos do Estado da Bahia.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar experimentalmente curvas de retenção de água em solos do Estado da Bahia, utilizando mesa de tensão e câmaras de pressão (panelas de Richards).
- b) Avaliar a aplicação do modelo de Arya & Paris (1981) para estimar a curva de retenção de água de solos do Estado da Bahia, com base na distribuição de partículas por tamanho obtida pelos métodos do analisador granulométrico e do densímetro de Bouyoucos.



### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Curva de retenção de água

A água do solo provém das chuvas ou da irrigação e parte dela é absorvida pelas plantas, principalmente por suas raízes. A água da chuva que atinge a superfície do solo pode infiltrar ou escoar pela superfície do solo. Da água que penetra no solo, parte retorna à atmosfera pela evaporação direta do solo e parte por transpiração das plantas, cuja soma é a evapotranspiração. A água restante ficará armazenada nos horizontes do solo ou acumulará nas camadas mais profundas na forma de lençol freático, dando origem às nascentes dos pequenos rios (KIEHL, 1979).

A água é retida no solo devido a fenômenos de capilaridade e adsorção. A capilaridade atua na retenção de água pelo solo na faixa úmida, quando os poros apresentam-se razoavelmente cheios de água. Quando um solo seca, os poros vão esvaziando e filmes de água recobrem as partículas sólidas. Nessa condição o fenômeno de adsorção passa a dominar a retenção de água (REICHARDT, 1990). Assim, a água retida na matriz do solo é governada por forças de adsorção e por forças capilares, as quais se denominam forças mátricas. Dessa forma origina-se o termo potencial mátrico da água no solo. O conhecimento do potencial de água no solo é decisivo no estabelecimento das necessidades de irrigação para a cultura, bem como no manejo do solo e da água (LIBARDI, 2000).

A curva de retenção é o resultado da relação entre o potencial mátrico e o conteúdo de água no solo. O potencial mátrico é a medida da energia de

retenção da água pela matriz do solo, enquanto o conteúdo de água revela a quantidade de água presente no solo (REICHARDT & TIMM, 2004).

Como a quantidade de água retida ou armazenada na matriz do solo é função do tamanho e do volume dos poros que a contêm, conseqüentemente o conteúdo de água está intimamente relacionado com o potencial mátrico. À função que relaciona o potencial mátrico com a umidade do solo dá-se o nome de curva característica de umidade do solo (TUCCI, 2000).

A curva de retenção de água é influenciada pela textura do solo, de forma que, quanto maior for o conteúdo de argila, maior será, em geral, o teor de água retida sob um dado potencial mátrico e menor será a inclinação da curva devido à distribuição mais uniforme de tamanho dos poros. Em solos arenosos normalmente os poros são maiores, sendo mais rapidamente esvaziados a baixas tensões, restando pequenas quantidades de água retidas a altas tensões, o que explica a inclinação acentuada da curva de retenção de água (HILLEL, 1982).

A partir da obtenção da curva de retenção de água de um solo pode-se estimar o potencial mátrico  $\Psi_m$  conhecendo-se a umidade do solo  $\theta$  e vice versa. Os diferentes valores de  $\Psi_m$  e  $\theta$  vão refletir no comportamento da água no solo em termos de disponibilidade para as plantas (AGUIAR, 2007).

O potencial mátrico pode ser avaliado pelo trabalho que se deve realizar à unidade de volume de água retida num solo não saturado pelas forças mátricas para torná-la livre, como água padrão (LIBARDI, 2000).

A possibilidade de estimação da curva característica com base em atributos de determinação rotineira, muitas vezes constantes em levantamentos pedológicos, como textura, matéria orgânica e densidade do solo, pode ser extremamente útil para avaliações técnico-financeiras de projetos de irrigação e drenagem, além de projetos para assentamento rural, classificação de solos e levantamentos conservacionistas, visando ao uso racional do recurso terra (BRASIL, 1983; MELLO et al., 2002). Em tais situações é de suma importância a determinação rápida e precisa da curva característica, o que é possível pelo uso de modelagem matemática (MELLO et al., 2005).

A relação entre propriedades hidráulicas do solo com atributos físicos vem sendo estudada com o intuito de conhecer suas possíveis relações, haja vista que já foi comprovada a influência dos teores de argila, areia e matéria orgânica na capacidade de retenção de água pelo solo. Vários pesquisadores, destacando-se Centurion & Andrioli (2000) e Mello et al. (2002) obtiveram correlações significativas entre algumas propriedades hidráulicas do solo com atributos físicos, em especial aqueles de determinação rotineira, como textura, matéria orgânica e densidade do solo.

### **3.2 Fatores que influenciam na retenção de água no solo**

Existem vários fatores que influenciam na retenção de água no solo, sendo o principal a textura, pois determina a área de contato entre a água e as partículas sólidas e afeta a organização das partículas e a distribuição de poros (REICHARDT, 1990). A matéria orgânica, na fase coloidal, também possui boas propriedades de retenção de água. A matéria orgânica influencia um dos principais atributos físicos do solo que é a agregação das partículas do solo, afetando assim indiretamente outros atributos como densidade do solo, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água (SANTOS; CAMARGO, 1999).

#### **3.2.1 Textura do solo**

A textura do solo é o principal fator que influencia a retenção de água, pois ela, diretamente, determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água e as proporções de poros de diferentes tamanhos, influenciando ao mesmo tempo os fenômenos de capilaridade e de adsorção (REICHARDT, 1985; REICHARDT; TIMM, 2004). Refere-se à distribuição de partículas por tamanho, agrupando-as nas frações areia, silte e argila. Segundo Montenegro (1976), a distribuição do percentual dessas frações é a característica física mais estável do solo e sua correlação com a área superficial específica faz com que se torne um dos atributos mais importantes do solo. Atributos como consistência, permeabilidade, capacidade de troca de cátions, estrutura e

retenção de água estão diretamente ligados à textura, combinada com outros atributos como composição mineralógica das argilas e teor de matéria orgânica.

Existem minerais de argilas que, devido às suas características cristalográficas, têm ótimas propriedades de retenção de água, como a montmorilonita, vermiculita e illita. Outros minerais de argila como a caulinita e a gibsitita já não apresentam boas propriedades de retenção de água (REICHARDT, 1990).

Sendo assim, dentre os vários fatores que influenciam a retenção de água no solo o principal é a granulometria, já que ela determina a área de contato entre a água e as partículas sólidas, determinando ainda a acomodação das partículas e a distribuição de poros por tamanho.

### **3.2.2 Estrutura do solo**

A estrutura do solo também influencia a retenção de água, pois, como consequência do arranjo das partículas, determina a distribuição de poros por tamanho (REICHARDT, 1990).

A influência da estrutura do solo na retenção de água é mais acentuada quando a água está retida a baixos valores de tensão pois, nessa faixa, o potencial mátrico depende mais de fenômenos capilares do que de forças adsorptivas; nesse caso, a geometria dos poros assume grande importância. Para elevados valores de tensão as forças adsorptivas são mais atuantes, sendo o potencial mátrico mais influenciado pela textura e superfície específica do solo (HILLEL, 1970; REICHARDT, 1975).

A estrutura do solo não influencia diretamente as plantas, e sim por meio de um ou mais fatores como aeração, compactação, temperatura e relação com a água no solo (GAVANDE, 1976). Existem alterações estacionais da estrutura do solo como consequência de práticas de manejo, crescimento das plantas, irrigação e chuva. Então, ao contrário do que ocorre com a textura do solo, que é uma característica permanente, a estrutura tem um caráter dinâmico, alterando-se de acordo com as mudanças nas condições naturais (PERAZA, 2010).

A estrutura do solo é uma propriedade difícil de caracterizar-se, embora se perceba sua importância, já que determina a porosidade total como também a forma e o tamanho dos poros do solo, influenciando portanto na retenção de água no solo.

### **3.2.3 Matéria orgânica**

A importância da matéria orgânica do solo (MOS) como agente condicionador de alguns atributos físicos (densidade do solo, agregação e outras) é amplamente conhecida. Segundo Rezende (1979), um dos efeitos mais importantes da matéria orgânica sobre o solo é a modificação na sua capacidade de retenção de água devido à: 1) diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade total do solo; 2) alteração na distribuição do tamanho dos agregados, modificando a distribuição de poros por tamanho; e 3) aumento na capacidade adsortiva do solo, devido ao aumento na sua área superficial específica.

Santos & Camargo (1999) mencionam que a parte coloidal da MOS possui boas propriedades de retenção de água e influencia um dos principais atributos físicos do solo que é agregação, refletindo indiretamente em outros atributos como densidade do solo e das partículas, porosidade, aeração e capacidade de retenção e de infiltração de água.

A MOS, quando coloidal, também apresenta boa capacidade de retenção de água. Por isso, adições repetidas de esterco ou outros materiais orgânicos ao solo podem aumentar sua retenção de água (REICHARDT, 1990).

A estrutura do solo pode ser melhorada com o incremento de MOS; com isso se aumenta a capacidade de retenção de água, especialmente em solos arenosos, ajudando desse modo na conservação da umidade.

### **3.3 Obtenção da curva de retenção de água**

Para a determinação da curva de retenção da água no solo podem-se empregar vários métodos como funil de placa porosa, mesa de tensão ou

câmaras de pressão (painéis de Richards), em amostras de solo indeformadas ou deformadas (EMBRAPA, 1997). Em campo é utilizada uma combinação de métodos; na maioria das vezes o potencial mátrico da água ( $\Psi_m$ ) é determinado por um tensiômetro conectado a um manômetro de mercúrio ou a um transdutor de pressão, enquanto que técnicas como a moderação de nêutrons, reflectometria no domínio do tempo (TDR) e gravimetria são utilizadas para a quantificação da umidade volumétrica ( $\Theta_v$ ) do solo (VAZ et al., 2003).

Devido às dificuldades experimentais e ao longo tempo envolvido nessas determinações tem-se observado crescente interesse por métodos indiretos de estimação da capacidade de retenção da água no solo (ARYA et al., 1999; PACHEPSKY; RAWLS, 1999), os quais utilizam dados de solo relativamente simples. Entre esses métodos os mais importantes são as funções de pedotransferência (FPTs), que são representadas por equações que expressam dependências entre a retenção da água e atributos do solo disponíveis em levantamentos de solos. O modelo de Arya & Paris (1981) usa a similaridade entre as curvas de distribuição das partículas por tamanho e de retenção de água no solo.

Tomazella et al. (2000) desenvolveram um modelo de FPT para as condições de solos brasileiros, utilizando dados de mais de 500 horizontes de perfis de solos. O desenvolvimento das equações de FPT adaptadas para as condições de solos tropicais possibilitou a determinação dos parâmetros da curva de retenção de Genuchten (1980) com precisão muito maior do que com o uso de equações de FPT desenvolvidas para outros solos. Segundo Tomazella et al. (2000) o modelo de Arya & Paris (1981) ainda carecia de validação para as condições de solos brasileiros.

Vários modelos empíricos (BROOKS; COREY, 1966; GENUTCHEN, 1980; ROSSI; NIMMO, 1994; ASSOULINE et al., 1998; KASTANEK; NIELSEN, 2001; PRUNTY; CASEY, 2002) têm sido propostos e empregados para a descrição da curva de retenção a partir de um determinado número de pontos medidos. Segundo Kastanek & Nielsen (2001), as funções empíricas continuam sendo usadas para ajustar as curvas de retenção de água do solo porque ainda

não foram desenvolvidas expressões matemáticas teóricas capazes de representar adequadamente essa relação físico-hídrica.

### **3.4 Aplicação de modelos**

O uso de modelos matemáticos para estimação de atributos físico-hídricos do solo tem como principal vantagem eliminar as dificuldades de determinação desses atributos em laboratório, devido ao grande dispêndio de tempo e dinheiro (MELLO et al., 2005).

Um dos modelos mais utilizados na literatura para ajustar a curva de retenção é o modelo de Genuchten (1980), em que são ajustados os parâmetros  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$ , que estão correlacionados, principalmente, com a textura de um solo (MARTINEZ et al., 1995).

Um exemplo de modelo matemático muito utilizado para descrever características dos solos são as FPT. A expressão função de pedotransferência foi descrita pela primeira vez por Bouma (1989) e foi usada para descrever, por exemplo, equações que expressam a dependência da retenção de água no solo e da condutividade hidráulica do solo com atributos disponíveis nos estudos de solos (PACHEPSKY; RAWLS, 1999).

Assim, atributos edáficos de difícil obtenção podem ser obtidos por equações representadas pelas FPTs. Segundo Salchow et al. (1996), FPTs são equações de regressão ou modelos que relacionam atributos do solo entre si e que são de importância para a produção agrícola e o manejo de recursos naturais.

Quanto à proposta de Arya & Paris (1981), trata-se de um modelo empírico que surgiu a partir de observações da semelhança entre as formas da distribuição das partículas do solo por tamanho e da curva característica de umidade; após comparar curvas características de umidade de um número de amostras de solo com curvas granulométricas, notou-se uma similaridade entre as duas curvas.

### **3.5 Descrição do modelo de Arya & Paris (1981)**

Esse modelo consiste em utilizar dados referentes ao tamanho das partículas, obtidos por meio da análise granulométrica. Segundo Arya & Paris (1981), isso se tornou possível devido às constatações de semelhanças entre as formas da distribuição das partículas do solo por tamanho e da curva característica de umidade.

A física do solo possui princípios fundamentais para a compreensão da relação solo-água. O modelo de Arya & Paris (1981) baseia-se em dois desses princípios. O primeiro deles é a equação da capilaridade, que relaciona o potencial da água ( $\psi$ ), expresso pela altura da ascensão capilar, com o diâmetro do poro:

$$\psi = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho_w g r_i} \quad (1)$$

onde  $\sigma$  (0,0728 N m<sup>-1</sup>) é a tensão superficial da água na interface água-ar,  $\theta$  é o ângulo de contato (igual a zero, ou seja, com o solo saturado, sendo  $\cos \theta = 1$ ),  $\rho_w$  (kg m<sup>-3</sup>) é a densidade da água,  $g$  (9,81 m s<sup>-2</sup>) é a aceleração da gravidade e  $r_i$  (m) é o raio do poro, considerando o sistema internacional de unidades (SIU).

O segundo princípio é a distribuição do tamanho das partículas do solo e a contribuição de cada fração para a saturação de água no solo:

$$\theta_i = \left[ 1 - \frac{\rho_s}{\rho_p} \right] \sum_{i=1}^{i=n} w_i \quad (2)$$

onde  $i$  são as diversas frações das partículas do solo,  $\rho_s$  (kg m<sup>-3</sup>) é a densidade do solo,  $\rho_p$  (kg m<sup>-3</sup>) é a densidade das partículas do solo e  $w_i$  (g g<sup>-1</sup>) é a fração de massa do solo dada pela curva de distribuição de tamanho das partículas.

A conexão entre as equações (1) e (2) para a estimação da curva de retenção de água pelo modelo de Arya & Paris (1981) é feita associando-se o raio do poro ( $r_i$ ) com o raio da partícula ( $R_i$ ) por meio da seguinte equação:

$$r_i = R_i \frac{\sqrt{4en_i^{(1-\alpha)}}}{6} \quad (3)$$



onde  $n_i$  é o número de partículas esféricas da  $i$ -ésima classe da massa do solo,  $e$  é a relação de vazios obtidas por:

$$n_i = \frac{3W_i}{4\pi R_i^3 \rho_p} \quad (4)$$

$$e_i = \frac{\rho_p - \rho_s}{\rho_s} \quad (5)$$

O coeficiente  $\alpha$  (alfa) é definido como fator de escalonamento, o qual, segundo Basile & D'Urso (1997), representa o ajuste empírico para a tortuosidade dos poros em solos nas condições naturais. Arya & Paris (1981) consideraram o valor de 1,38 como sendo a melhor estimativa para o mesmo. Arya & Dierolf (1992), citados por Vaz et al. (2005), obtiveram um valor de 0,938 para o fator de escalonamento  $\alpha$ .

O potencial mátrico do solo é calculado pela combinação das equações 1, 3, 4, e 5:

$$\psi_i = \frac{2\sigma}{\rho_w g R_i \sqrt{\frac{2(\rho_p - \rho_s)}{3\rho_s} \times \frac{3W_i}{4\pi R_i^3 \rho_p}}} \quad (6)$$

No presente trabalho, para derivação do fator de escalonamento  $\alpha$  foram utilizadas e avaliadas as seguintes equações:

$$\alpha 1 = 0,947 + 0,427 \cdot \text{EXP} \left( \frac{-\theta_v}{0,129} \right) \quad (\text{VAZ et al., 2005}) \quad (7)$$

$$\alpha 2 = \frac{1 - \log \left[ \frac{3}{2e} \left( \frac{2\sigma}{\rho_w \psi_i g R_i} \right) \right]}{\log (n_i)} \quad (\text{VAZ et al., 2005}) \quad (8)$$

$$\alpha 3 = \frac{\text{Log } N_i}{\text{Log } n_i} \quad (\text{ARYA et al., 1999}) \quad (9)$$

sendo  $n_i$  o número de partículas esféricas da  $i$ -ésima classe da massa do solo, descrito pela equação (4), e  $N_i$  o número de das partículas esféricas necessário para estimar o comprimento do poro na estrutura natural do solo correspondente, sendo igual a:

$$N_i = 7,371 w_i e \frac{\psi_{mi}^2}{\rho_s R_i} \quad (10)$$

onde  $w_i$  é igual a fração de massa do solo dada pela curva de distribuição de tamanho das partículas,  $\psi_{mi}$  é igual ao potencial mátrico medido,  $\rho_s$  é a densidade do solo e  $R_i$  é o raio de partícula.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Solos**

Solos com distintas características físicas e morfológicas foram amostrados em vários locais no Estado da Bahia (Anexo 1), com diferentes classes texturais (Figura 1). Foram coletadas amostras dos horizontes A e AB e, ou B e, ou C, num total de 16 solos e 62 horizontes.

As amostras deformadas e indeformadas coletadas em campo foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o laboratório, para o devido processamento. As amostras deformadas foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2,0 mm, resultando na terra fina seca ao ar (TFSA) para análises posteriores; as indeformadas foram mantidas com a umidade de campo e processadas na medida em que foram sendo analisadas.

### **4.2 Análises físicas**

Todas as análises físicas consideradas no trabalho foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas-BA, de acordo com métodos descritos em Embrapa (1997), com exceção da análise granulométrica obtida por meio do analisador granulométrico, que foi realizada na Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos-SP.

#### **4.2.1 Análise granulométrica**

A análise granulométrica foi realizada por dois métodos distintos: analisador granulométrico e densímetro de Bouyoucos.

#### 4.2.1.1 Analisador granulométrico

Foi utilizado um equipamento chamado analisador granulométrico automático de solos (NAIME et al., 2001), que se baseia na atenuação de um feixe de raios gama pelas partículas dispersas em sedimentação. Essa técnica permite separar o solo em aproximadamente 30 frações granulométricas.

Os resultados foram armazenados em arquivo de texto contendo dados de concentração acumulada, em porcentagem da concentração inicial e diâmetro da partícula ( $\mu\text{m}$ ). As medidas do analisador foram feitas em triplicata, sendo considerado o valor médio.



**Figura 1** – Analisador granulométrico desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos-SP.

#### 4.2.1.2 Densímetro de Bouyoucos

Nesse método utilizou-se o hidróxido de sódio como dispersante e a fração areia total foi separada em cinco frações: areia muito grossa (2,00-1,00

mm), areia grossa (1,00-0,50 mm), areia média (0,50-0,25 mm), areia fina (0,25-0,10 mm) e areia muito fina (0,10-0,05 mm). A classificação textural foi obtida por meio do triângulo de textura (EMBRAPA, 1997).

#### 4.2.2 Densidades do solo e das partículas

No caso da densidade do solo utilizou-se o método do cilindro volumétrico, coletando-se, em cada horizonte do perfil do solo, duas amostras indeformadas em cilindros de Uhland com aproximadamente 310 cm<sup>3</sup> de volume, considerando-se, para fins de comparação de resultados, a média aritmética das duas repetições.

A densidade de partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico, usando álcool etílico como líquido penetrante.

#### 4.2.3 Porosidade total

Foi obtida por cálculo, de acordo com a seguinte expressão:

$$PT = \frac{\rho_p - \rho_s}{\rho_p} \quad (11)$$

onde: **PT** é a porosidade total calculada em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>,  $\rho_p$  é a densidade das partículas em kg dm<sup>-3</sup> e  $\rho_s$  é a densidade de solo em kg dm<sup>-3</sup>.

#### 4.2.4 Curva de retenção de água

A curva de retenção foi obtida em duas etapas: a primeira, determinada em laboratório utilizando mesa de tensão e câmaras de pressão de Richards (Richards, 1949); e a segunda, estimada seguindo a metodologia de Arya & Paris (1981), adaptada por Vaz et al. (2005).

##### 4.2.4.1 Em laboratório

Para determinação da curva de retenção de água pelo solo, em laboratório, foram coletadas amostras com estrutura indeformada em cilindros metálicos com aproximadamente 100 cm<sup>3</sup> de volume.

As amostras indeformadas foram saturadas lentamente por 24 horas, por capilaridade, sendo então submetidas à tensão de 6 kPa em mesa de tensão e às pressões de 10, 33, 100, 300 e 1500 kPa, em câmara de pressão de Richards (Richards, 1949).

A umidade do solo referente a cada tensão e pressão foi determinada pela secagem das amostras em estufa a 105 C por 48 horas.

Com os valores de umidade e potencial mátrico fornecidos pela análise de retenção de água, em laboratório, foi realizado o ajuste ao modelo de Genuchten (1980), por meio do programa SWRC (Dourado Neto et al., 1995):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \Psi_m)^n\right]^m} \quad (12)$$

onde:  $\theta$  = umidade volumétrica do solo, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;  $\theta_r$  = umidade residual do solo, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;  $\theta_s$  = umidade de saturação do solo, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;  $\Psi_m$  = potencial matricial da água no solo e  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  = coeficientes empíricos.

#### 4.2.4.2 Modelo de Arya & Paris (1981)

O modelo de Arya & Paris (1981), para estimação da curva de retenção, baseia-se na utilização de dados referentes à distribuição das partículas do solo por tamanho, obtida pela análise granulométrica. Aspectos teóricos desse modelo são apresentados no item 3.5.

O modelo foi aplicado para a análise granulométrica obtida por meio do analisador granulométrico e pelo método do densímetro de Bouyoucos.

A umidade volumétrica foi obtida utilizando-se a equação (2). Os respectivos potenciais mátricos foram obtidos por meio da equação (6), que resulta da combinação das equações (1), (3), (4) e (5). Todas essas equações são apresentadas no item 3.5.

Os valores de umidade volumétrica e potencial mátrico foram obtidos com planilhas eletrônicas por meio do programa Microsoft Excel; em seguida foi realizado o ajuste ao modelo de Genuchten (1980), por meio do programa SWRC (Dourado Neto et al., 1995), utilizando a equação (12).

Para aplicação do modelo de Arya & Paris (1981) foram utilizados três fatores de escalonamento, os quais se encontram descritos nas equações (7), (8) e (9).

Segundo Vaz et al. (2005), o  $\alpha_1$  descrito pela equação (7) foi o melhor ajuste obtido para os solos por eles estudados. Esse fator de escalonamento é oriundo de uma equação de decaimento exponencial de primeira ordem, onde se usa a seguinte dependência:  $\alpha = f(\theta)$ .

O fator de escalonamento  $\alpha_2$  também é descrito por Vaz et al. (2005) e é obtido por meio do ajuste dos dados medidos de retenção de água no solo, utilizando uma combinação das equações (1), (3), (4) e (5). O potencial mátrico do solo  $\psi_{mi}$  foi estimado a partir da equação de Genuchten (1980) na sua forma invertida ( $\psi$  como uma função de  $\theta$ ), montada com a curva de retenção para vários conteúdos de água que, por sua vez, são calculados a partir de dados de acordo com a distribuição do tamanho de partículas para o raio da partícula considerado.

Portanto,  $\alpha$  pode ser estimado para cada classe de raio para todas as amostras de solo. Na equação (8)  $\alpha$  também pode ser assumido como uma função de  $\psi$ . Essa dependência foi originalmente proposta por Basile & D'Urso (1997). No entanto, devido à interdependência de  $\alpha$  e  $\psi$  na aplicação do modelo de AP, o uso da relação  $\alpha = f(\psi)$  é bastante complicado e requer o uso de um procedimento iterativo. Por conseguinte, e uma vez que  $\alpha$  e  $\theta$  são independentemente determinados no modelo de AP, foi proposto por Vaz et al (2005) expressar  $\alpha$  experimentalmente como uma função de  $\theta$ . Para isso,  $\alpha$  é calculado com a equação (8), utilizando os valores medidos  $\psi_i$  para cada fração de tamanho de partícula, determinado a partir da curva de retenção experimental com os teores de água obtido a partir da equação (2).

O fator de escalonamento  $\alpha_3$  foi obtido segundo Arya et al (1999) e se baseia na estimativa do comprimento de poros na estrutura natural do solo. A relação entre o número de partículas esféricas de um solo ideal,  $n_i$  ( $g^{-1}$ ), e do

número de partículas esféricas necessários para traçar o comprimento dos poros correspondentes à estrutura de solo natural,  $N_i$  ( $g^{-1}$ ), é dada pela equação (9).

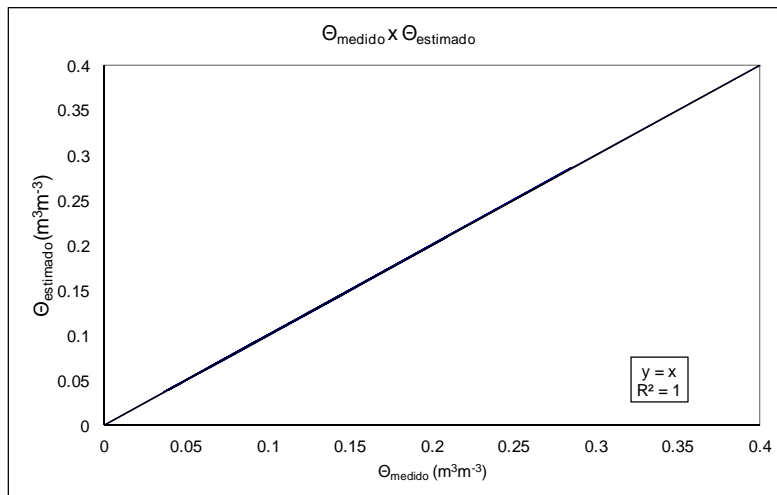
Os valores de  $n_i$  foram calculados a partir da distribuição do tamanho de partículas usando a equação (4), e os valores de  $N_i$  foram obtidos com base na equação (10).

#### 4.3 Processamento analítico dos dados

Na figura 2 é apresentado um gráfico 1:1, onde são relacionados valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) e estimada ( $\theta_{estimada}$ ). Gráficos como esse foram utilizados para expressar os resultados encontrados.

Como foram utilizados três alfas distintos para estimar a umidade:  $\alpha 1$  (Vaz et al., 2005);  $\alpha 2$  (Vaz et al., 2005);  $\alpha 3$  (Arya et al., 1999), e como esses alfas forneceram diferentes umidades, cada um conjunto de umidades foi correlacionado com a umidade volumétrica obtida em laboratório pelo método de Richards (1949).

Como observado na figura 2, o  $R^2 = 1$  significa que os dados estimados coincidem exatamente com os dados medidos, sendo a equação ajustada na forma  $y = x$ , com  $a = 0$  e  $b = 1$ .



**Figura 2** – Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ).



A comparação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) e estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981) foi feita por meio do ajuste de regressão linear simples entre os valores observados  $x$  e os valores estimados  $y$ , utilizando equação do tipo  $y = a + bx$ . Quanto mais próximo de 0 for o coeficiente  $a$  e mais próximo de 1 o coeficiente  $b$ , maior a proximidade entre os valores medidos e estimados.

Além da avaliação do ajuste de equação de regressão linear simples, a comparação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) e estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981) foi feita por meio da raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEQM), com base na seguinte equação:

$$RQEQM = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\theta_{medida} - \theta_{estimada})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (13)$$

Quanto mais próximo de 0 for o RQEQM maior a proximidade entre os valores medidos e estimados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Atributos físicos do solo

Nos anexos 2 e 3 são apresentados os resultados de análises físicas realizadas nos solos avaliados no Estado da Bahia.

A análise granulométrica dos solos (Anexo 2) permitiu a observação de 10 das 13 classes texturais presentes no triângulo de textura, variando de areia até muito argilosa (Figura 3); apenas as classes texturais franca, franco-siltosa e siltosa não foram encontradas nos solos avaliados.

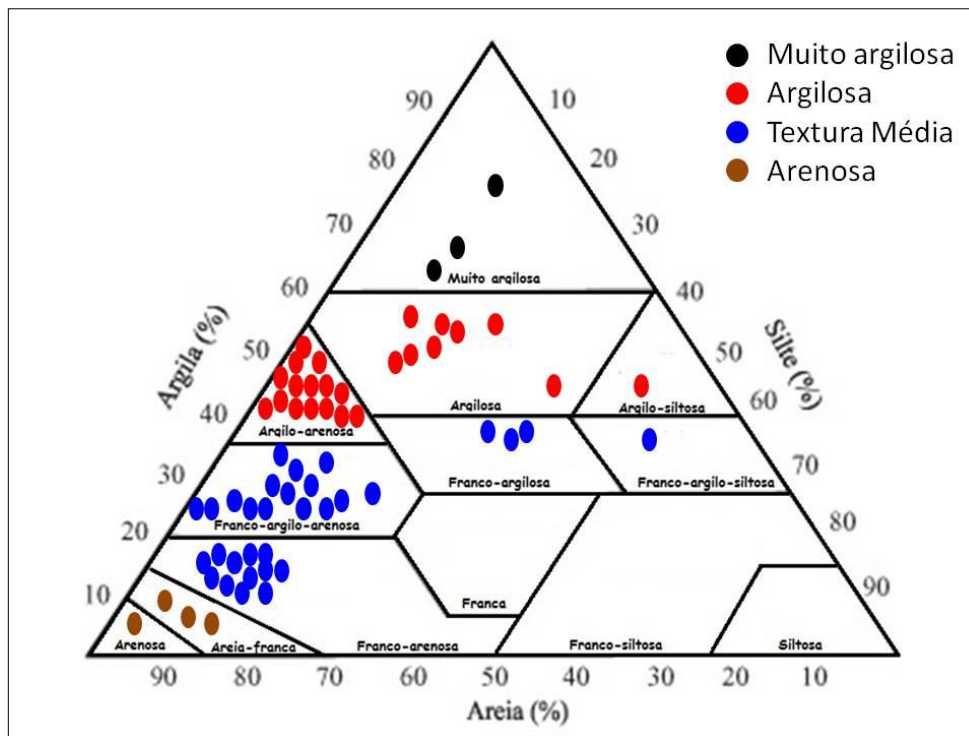


Figura 3 – Classes texturais dos solos amostrados e avaliados.

## 5.2 Gráficos de umidade 1:1

Para avaliar a eficiência preditiva do modelo AP (ARYA; PARIS, 1981), em função das análises granulométricas obtidas por meio do analisador granulométrico e pelo método do densímetro de Bouyoucos, em relação aos valores de umidade medidos em diferentes potenciais mátricos, utilizou-se a relação gráfica 1:1 entre os valores medidos e estimados. Nesse tipo de relação a precisão é tanto maior quanto menos pontos ficarem dispersos em relação à linha principal, a qual representa um ajuste perfeito (URACH, 2007).

Conforme já abordado, a comparação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{\text{medida}}$ ) e estimada ( $\theta_{\text{estimada}}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981) foi feita por meio do ajuste de regressão linear simples entre os valores observados  $x$  e os valores estimados  $y$ , utilizando equação do tipo  $y = a + bx$ , como também utilizando a raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEQM). Quanto mais próximo de 0 forem o coeficiente  $a$  e o RQEQM e mais próximo de 1 for o coeficiente  $b$  maior a proximidade entre os valores medidos e estimados.

As figuras 4 a 13 mostram o resultado da capacidade preditiva do modelo AP (analisador granulométrico e densímetro), em comparação com os valores medidos, para as quatro texturas de solo avaliadas e para os três fatores de escalonamento  $\alpha$  testados. As tabelas 1 a 5 mostram os parâmetros de ajuste para regressões lineares entre os valores medidos e estimados e o RQEQM, para essas mesmas situações.

Segundo Arya et al. (2008) é esperado que os parâmetros desenvolvidos para determinado solo possam ser utilizados por solos semelhantes para obtenção da curva de retenção de água, porém não há certeza de que existirá semelhança freqüente nos resultados obtidos.

### 5.2.1 Solos de textura arenosa

Nas correlações AP x R entre os valores obtidos em laboratório pelo método de Richards (1949) e os estimados pelo método de Arya & Paris (1981), para o analisador granulométrico (Figura 4), para solos de textura

arenosa com diferentes fatores de escalonamento, foi possível observar, de maneira geral, a sub e superestimação de valores para os fatores de escalonamento  $\alpha 1$  e  $\alpha 3$  em todas as umidades da curva, com uma maior frequência na faixa mais seca da curva; no caso do  $\alpha 2$  houve superestimação de valores para todas as umidades.

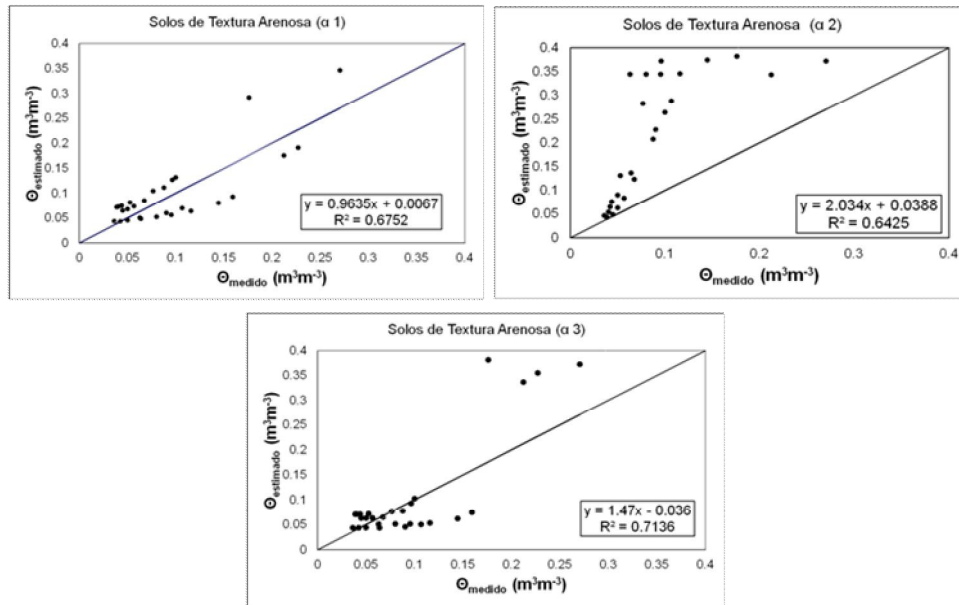
Nas correlações AP x R para o densímetro (Figura 5), para solos de textura arenosa com diferentes fatores de escalonamento, foi possível observar, de maneira geral, a sub e superestimação de valores para todos os fatores de escalonamento e em todas as umidades da curva, com uma maior frequência na faixa mais seca da curva.

Os valores do coeficiente  $a$  e do RQEQM foram mais próximos de 0 e os do coeficiente  $b$  aproximaram-se de 1 para o fator de escalonamento  $\alpha 1$ , tanto no caso do analisador granulométrico quanto no do densímetro de Bouyoucos (Tabela 1), indicando bom comportamento do modelo AP na predição da retenção de água nos solos de textura arenosa quando se usou o fator de escalonamento  $\alpha 1$ .

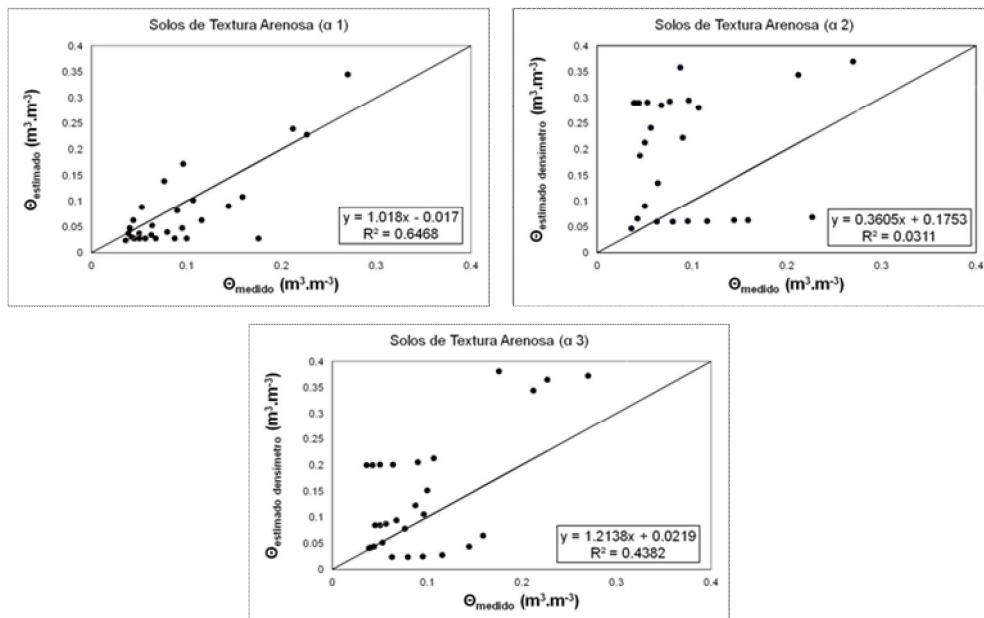
Basile & D'Urso (1997) obtiveram bons resultados para o modelo AP para solos arenosos, utilizando  $\alpha = 1,38$  e  $0,938$ , com base na distribuição do tamanho de partículas (areia, silte e argila) obtida pelo método do densímetro de Bouyoucos.

O coeficiente  $\alpha 1$  foi definido por Vaz et al. (2005) como uma função da umidade volumétrica, representando naquele trabalho um avanço em relação aos valores fixos de  $1,38$  considerados por Arya & Paris (1981) e de  $0,938$  por Arya & Dierolf (1999), como sendo as melhores estimativas para o mesmo.

A divergência entre dados verificada ao relacionar os métodos de AP e R (analisador ou densímetro) pode ser atribuída à observação verificada por Urach (2007), que concluiu que as funções de pedotransferência são mais eficientes quando utilizadas para estimar a retenção de água em solos com características similares às daqueles utilizados na geração das equações. Sobre isso é importante ressaltar que o modelo de Arya & Paris (1981) foi desenvolvido utilizando solos de regiões temperadas, enquanto os solos avaliados neste trabalho são de regiões tropicais.



**Figura 4** – Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo analisador granulométrico, para diferentes fatores de escalonamento alfa, em solos de textura arenosa.



**Figura 5** – Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo densímetro de Bouyoucos, para diferentes fatores de escalonamento alfa, em solos de textura arenosa.

**Tabela 1** – Comparação entre valores de umidade volumétrica medida e estimada pelo modelo de Arya & Paris (1981) em solos de textura arenosa, com base na análise granulométrica obtida pelo analisador granulométrico e pelo densímetro de Bouyoucos, para os três fatores de escalonamento alfa avaliados.

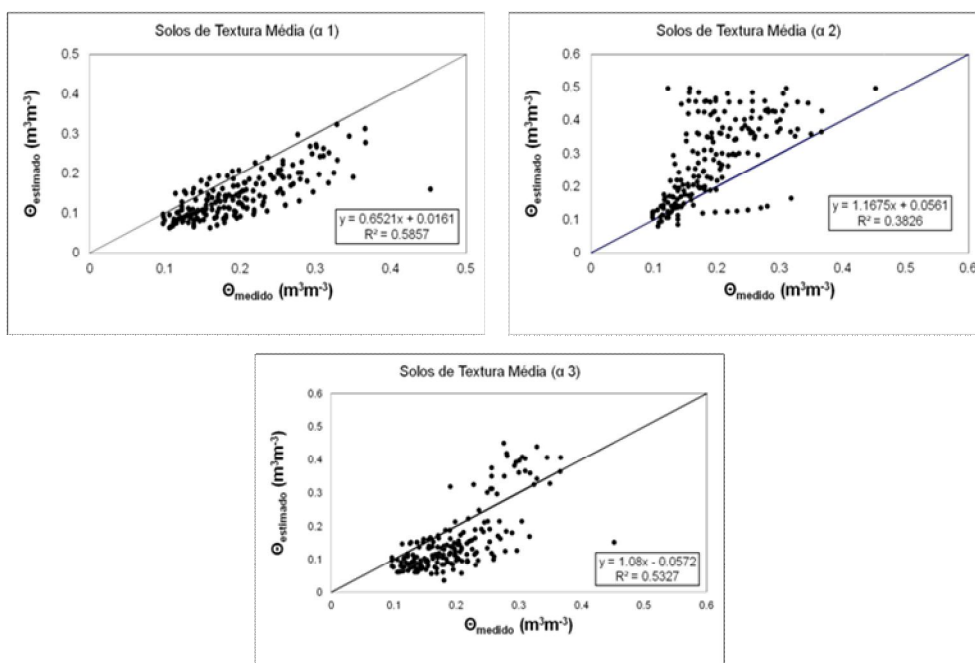
Parâmetros de ajuste <sup>(1)</sup>	Analisador granulométrico			Densímetro de Bouyoucos		
	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
Intercepto	0,00668	0,03881	-0,03602	-0,01698	0,17526	0,02185
Coefficiente angular	0,96337	2,03380	1,47003	1,01796	0,36060	1,21399
R <sup>2</sup>	0,6752	0,6425	0,7136	0,6468	0,0311	0,4382
RQEQM <sup>(2)</sup>	0,041	0,178	0,064	0,048	0,172	0,095

<sup>(1)</sup>Os valores do intercepto e do coeficiente angular foram obtidos pelo software Model Evaluation System v. 3.1.13, havendo pequena variação com os valores apresentados nas figuras 4 e 5, obtidos via Excel. <sup>(2)</sup>Raiz quadrada do erro quadrático médio.

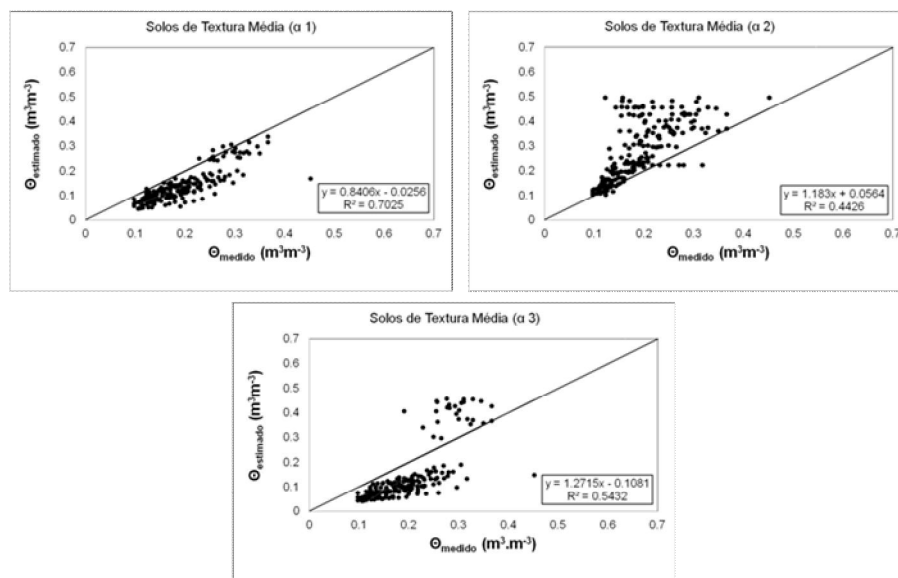
### 5.2.2 Solo de textura média

Para solos de textura média, tanto no caso do analisador granulométrico como do densímetro de Bouyoucos, nas correlações AP x R (Figuras 6 e 7), foi possível observar a subestimação dos valores pelo modelo de Arya & Paris (1981) para o fator de escalonamento  $\alpha 1$  e superestimação para  $\alpha 2$  em praticamente todas as umidades; para  $\alpha 3$  observou-se subestimação dos valores nas umidades mais baixas e superestimação nas mais altas.

Apesar de os valores do coeficiente *a* e do RQEQM terem sido mais próximos de 0 para o fator de escalonamento  $\alpha 1$ , tanto no caso do analisador granulométrico quanto no do densímetro de Bouyoucos (Tabela 2), o valor de *b* distanciou-se de 1, para baixo, configurando a condição de subestimação; isso foi mais evidente para os dados obtidos pelo analisador granulométrico, com o método do densímetro de Bouyoucos, portanto, apresentando melhor comportamento. Mesmo assim, comparando os valores desses três coeficientes para os três fatores de escalonamento avaliados, pode-se admitir que o fator de escalonamento  $\alpha 1$  ainda se comportou melhor do que  $\alpha 2$  e  $\alpha 3$ . Isso indica que o comportamento do modelo de Arya & Paris (1981) na predição da curva de retenção para os solos de textura média avaliados foi inferior em relação aos solos de textura arenosa.



**Figura 6** - Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo analisador granulométrico, para diferentes fatores de escalonamento alfa, em solos de textura média.



**Figura 7** - Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo densímetro de Bouyoucos, para diferentes fatores de escalonamento alfa, em solos de textura média.

**Tabela 2** – Comparação entre valores de umidade volumétrica medida e estimada pelo modelo de Arya & Paris (1981) em solos de textura média, com base na análise granulométrica obtida pelo analisador granulométrico e pelo densímetro de Bouyoucos, para os três fatores de escalonamento alfa avaliados.

Parâmetros de ajuste <sup>(1)</sup>	Analisador granulométrico			Densímetro de Bouyoucos		
	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
Intercepto	0,01606	0,05615	-0,05726	-0,02557	0,05644	-0,10814
Coeficiente angular	0,65204	1,16744	1,08006	0,84059	1,18297	1,27148
R <sup>2</sup>	0,5857	0,3826	0,5327	0,7025	0,4426	0,5432
RQEQM	0,067	0,132	0,078	0,068	0,127	0,095

<sup>(1)</sup>Os valores do intercepto e do coeficiente angular foram obtidos pelo software Model Evaluation System v. 3.1.13, havendo pequena variação com os valores apresentados nas figuras 6 e 7, obtidos via Excel. <sup>(2)</sup>Raiz quadrada do erro quadrático médio.

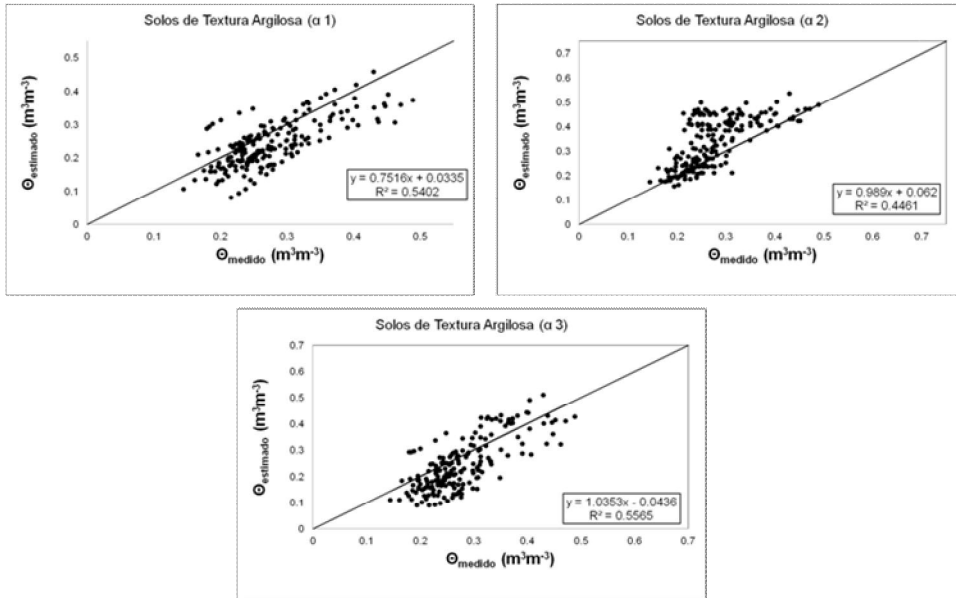
Segundo Hwang & Choi (2005), os solos em condições naturais apresentam agregação de partículas primárias em secundárias, canais de raízes e microfissuras, fatores que podem aumentar a distribuição de poros por tamanho e, conseqüentemente, influenciar o processo de estimação da curva de retenção de água pelo modelo Arya & Paris (1981). Talvez em função disso Hwang & Choi (2005) informaram que a diferença da curva de retenção de água predita e estimada varia de acordo com a textura do solo.

Basile & D'Urso (1997) obtiveram valores medidos e estimados pelo modelo de Arya & Paris (1981) bastante divergentes para solos de textura franco-argilosa (média), tanto para  $\alpha = 1,38$  e  $\alpha = 0,938$ .

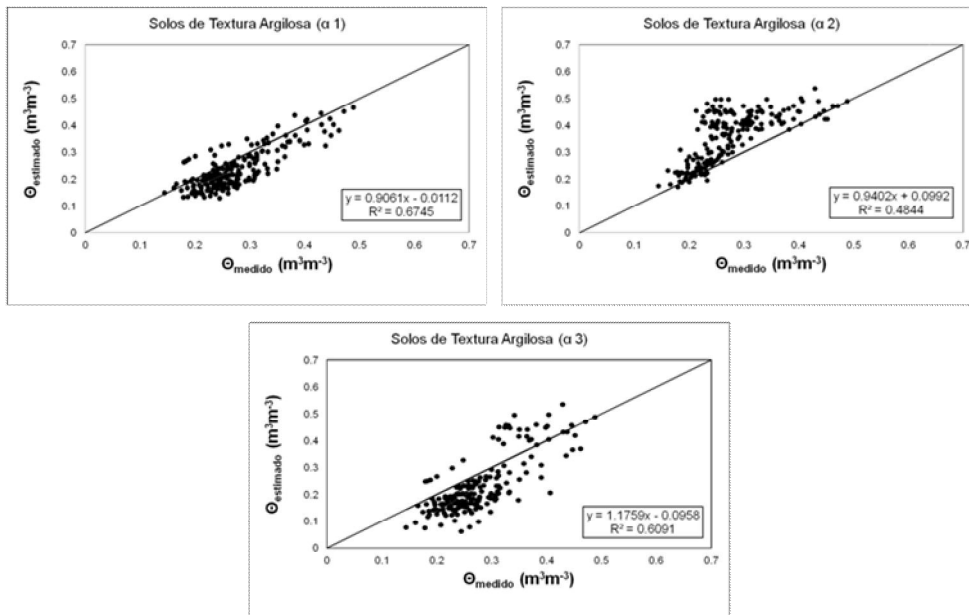
### 5.2.3 Solos de textura argilosa

Para solos de textura argilosa, de forma semelhante ao observado nos solos de textura média, tanto no caso do analisador granulométrico como do densímetro de Bouyoucos nas correlações AP x R (Figuras 8 e 9) foi possível observar maior ocorrência de subestimação dos valores para os fatores de escalonamento  $\alpha 1$  e  $\alpha 3$  em todas as umidades, e principalmente superestimação para  $\alpha 2$  principalmente nas médias e altas umidades.





**Figura 8** - Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo analisador granulométrico, para diferentes fatores de escalonamento alfa, em solos de textura argilosa.



**Figura 9** - Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo densímetro de Bouyoucos, para diferentes fatores de escalonamento alfa, em solos de textura argilosa.

Analisando em conjunto os coeficientes  $a$ ,  $b$  e RQEQM (Tabela 3) observa-se mais uma vez melhor comportamento do fator de escalonamento  $\alpha 1$ , principalmente para os dados granulométricos obtidos pelo método do densímetro de Bouyoucos; em seguida posicionou-se o fator de escalonamento  $\alpha 3$ , seguido de  $\alpha 2$ . O comportamento do modelo de Arya & Paris (1981) na predição da curva de retenção para os solos de textura argilosa foi melhor do que nos solos de textura arenosa e média.

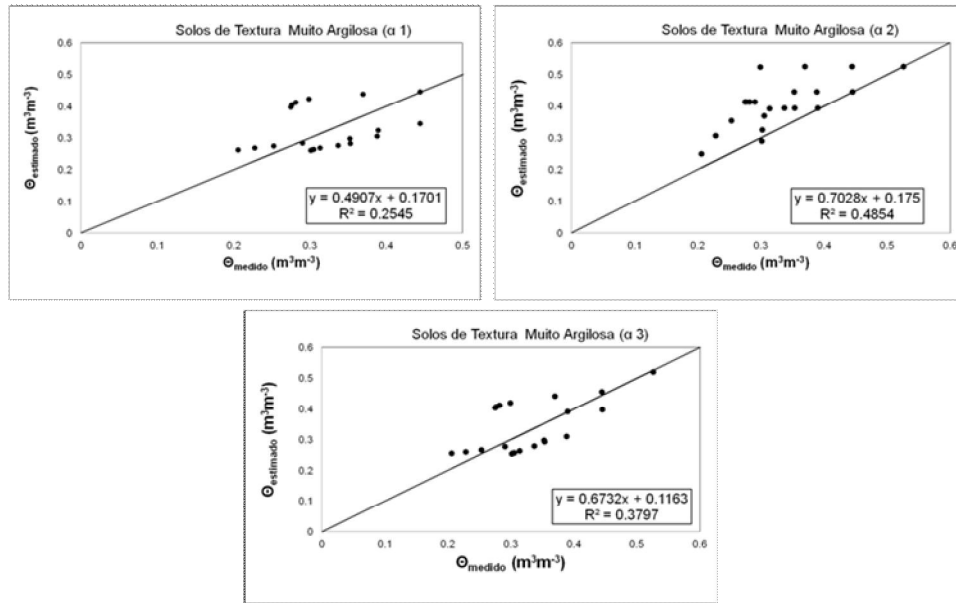
**Tabela 3** – Comparação entre valores de umidade volumétrica medida e estimada pelo modelo de Arya & Paris (1981) em solos de textura argilosa, com base na análise granulométrica obtida pelo analisador granulométrico e pelo densímetro de Bouyoucos, para os três fatores de escalonamento alfa avaliados.

Parâmetros de ajuste <sup>(1)</sup>	Analisador granulométrico			Densímetro de Bouyoucos		
	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
Intercepto	0,03354	0,06197	-0,04361	-0,01118	0,09921	-0,09581
Coefficiente angular	0,75162	0,98898	1,03536	0,90604	0,94018	1,17596
$R^2$	0,5402	0,4461	0,5565	0,6745	0,4844	0,6091
RQEQM	0,061	0,095	0,070	0,057	0,106	0,080

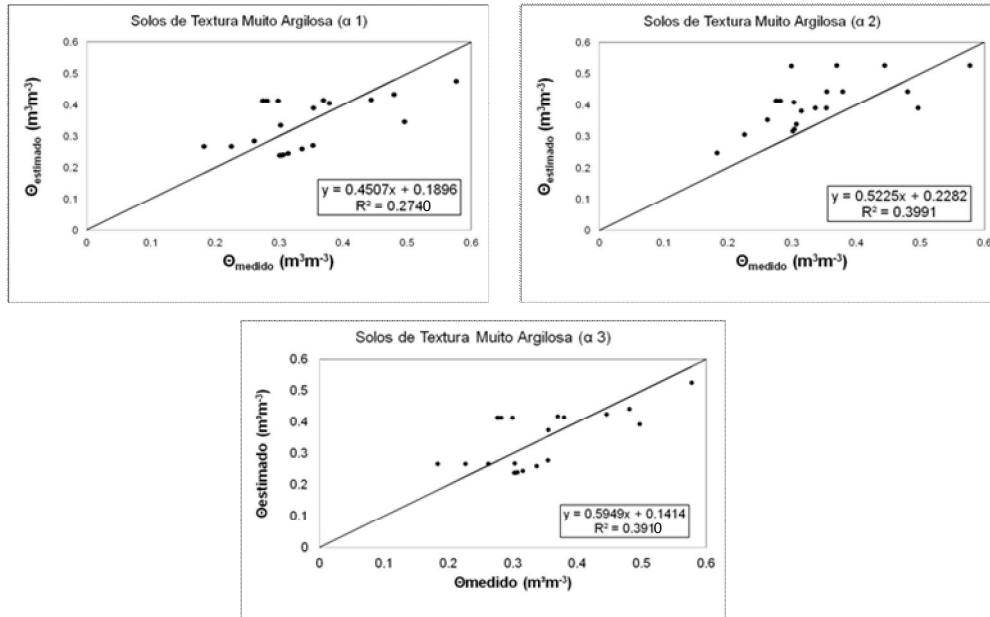
<sup>(1)</sup>Os valores do intercepto e do coeficiente angular foram obtidos pelo software Model Evaluation System v. 3.1.13, havendo pequena variação com os valores apresentados nas figuras 8 e 9, obtidos via Excel.

#### 5.2.4 Solos de textura muito argilosa

Para solos de textura muito argilosa, tanto no caso do analisador granulométrico como do densímetro de Bouyoucos nas correlações AP x R (Figuras 10 e 11) foi possível observar a superestimação de valores nas baixas e médias umidades e subestimação nas médias e altas, para os fatores de escalonamento  $\alpha 1$  e  $\alpha 3$ , e principalmente superestimação para o  $\alpha 2$  em praticamente todas as umidades.



**Figura 10** – Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo analisador granulométrico, para diferentes fatores de escalonamento alfa, em solos de textura muito argilosa.



**Figura 11** – Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo densímetro de Bouyoucos, para diferentes fatores de escalonamento alfa, em solos de textura muito argilosa.

Analisando em conjunto os coeficientes  $a$ ,  $b$  e RQEQM (Tabela 4) observou-se comportamento semelhante para os três fatores de escalonamentos avaliados, devendo-se ainda considerar que o comportamento do modelo de Arya & Paris (1981) na predição da curva de retenção para os solos de textura muito argilosa foi inferior aos das demais classes de solo avaliadas. É possível que esse resultado inferior tenha sofrido influência do menor número de solos avaliados na classe textural muito argilosa.

**Tabela 4** – Comparação entre valores de umidade volumétrica medida e estimada pelo modelo de Arya & Paris (1981) em solos de textura muito argilosa, com base na análise granulométrica obtida pelo analisador granulométrico e pelo densímetro de Bouyoucos, para os três fatores de escalonamento alfa avaliados.

Parâmetros de ajuste <sup>(1)</sup>	Analisador granulométrico			Densímetro de Bouyoucos		
	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
Intercepto	0,17006	0,17500	0,11629	0,1896	0,2282	0,1414
Coefficiente angular	0,49080	0,70281	0,67323	0,4507	0,5225	0,5949
$R^2$	0,2545	0,4854	0,3797	0,274	0,3991	0,3910
RQEQM	0,074	0,097	0,070	0,084	0,099	0,078

<sup>(1)</sup>Os valores do intercepto e do coeficiente angular foram obtidos pelo software Model Evaluation System v. 3.1.13, havendo pequena variação com os valores apresentados nas figuras 10 e 11, obtidos via Excel.

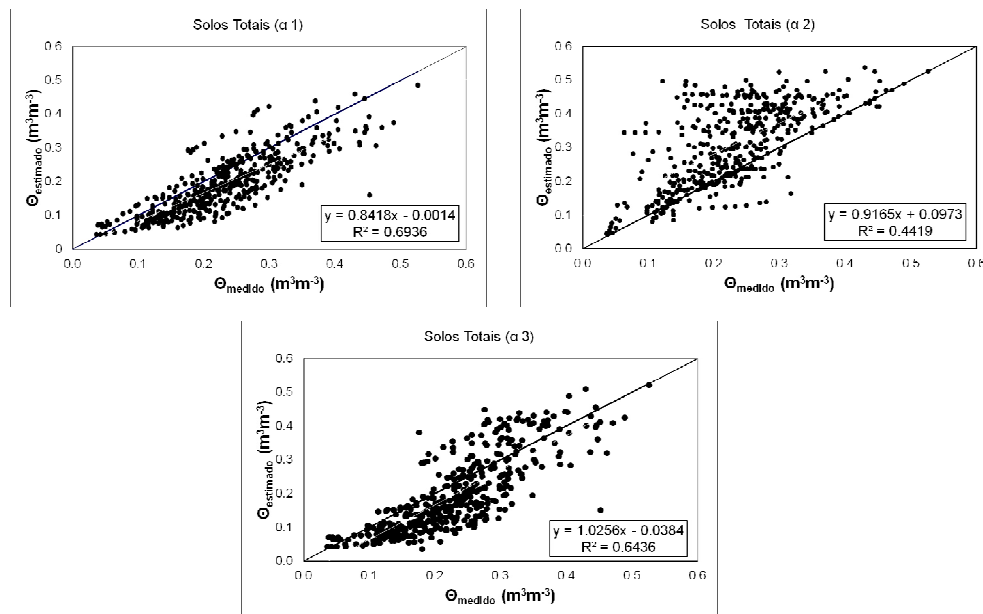
### 5.2.5 Todos os solos avaliados (texturas arenosa, média, argilosa e muito argilosa)

Analisando em conjunto todos os solos avaliados (texturas arenosa, média, argilosa e muito argilosa), tanto no caso do analisador granulométrico como do densímetro de Bouyoucos nas correlações AP x R (Figuras 12 e 13) foi possível observar a predominância de subestimação de valores para os fatores de escalonamento  $\alpha 1$  e  $\alpha 3$  em todas as umidades da curva, e predominância de superestimação para o  $\alpha 2$ .

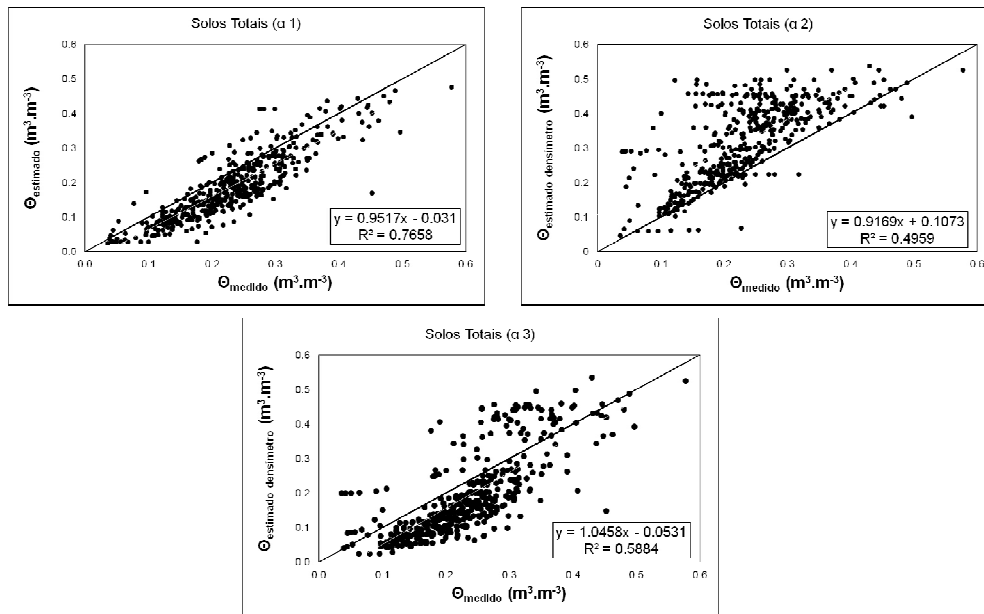
Os valores do coeficiente  $a$  e do RQEQM foram mais próximos de 0 e os do coeficiente  $b$  aproximaram-se de 1 para o fator de escalonamento  $\alpha 1$ , principalmente para os dados de granulometria obtidos pelo método do

densímetro de Bouyoucos (Tabela 5), indicando assim bom comportamento do modelo AP na predição da retenção de água considerando todos os solos avaliados e quando se usou o fator de escalonamento  $\alpha$  1. Resultado semelhante ocorreu para o fator de escalonamento  $\alpha$  3, com melhor comportamento para os dados de granulometria obtidos pelo método do analisador granulométrico.

Arya et al. (2008) obtiveram valores com base em parâmetros empíricos, em que houve diferença de +/- 10% dos valores de melhor ajuste. Os dados melhoraram significativamente quando se estabeleceu um valor médio para os parâmetros avaliados, pelo que as diferenças entre as curvas praticamente desapareceram.



**Figura 12** – Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo analisador granulométrico, para diferentes fatores de escalonamento alfa, considerando todos os solos avaliados (texturas arenosa, média, argilosa e muito argilosa).



**Figura 13** – Relação entre valores de umidade volumétrica medida ( $\theta_{medida}$ ) x umidade volumétrica estimada ( $\theta_{estimada}$ ) pelo modelo de Arya & Paris (1981), com base na análise granulométrica determinada pelo densímetro de Bouyoucos, para diferentes fatores de escalonamento alfa, considerando todos os solos avaliados (texturas arenosa, média, argilosa e muito argilosa).

**Tabela 5** – Comparação entre valores de umidade volumétrica medida e estimada pelo modelo de Arya & Paris (1981) para todos os solos avaliados (texturas arenosa, média, argilosa e muito argilosa), com base na análise granulométrica obtida pelo analisador granulométrico e pelo densímetro de Bouyoucos, para os três fatores de escalonamento alfa avaliados.

Parâmetros de ajuste <sup>(1)</sup>	Analisador granulométrico			Densímetro de Bouyoucos		
	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$
Intercepto	-0,0014	0,0973	-0,0384	-0,031	0,1073	-0,0531
Coefficiente angular	0,8418	0,9165	1,0256	0,9517	0,9169	1,0458
$R^2$	0,6936	0,4419	0,6436	0,7658	0,4959	0,5884
RQEQM	0,063	0,119	0,074	0,063	0,1201	0,088

<sup>(1)</sup>Os valores do intercepto e do coeficiente angular foram obtidos pelo software Model Evaluation System v. 3.1.13, havendo pequena variação com os valores apresentados nas figuras 12 e 13, obtidos via Excel.

## 6. CONCLUSÕES

1. O modelo Arya-Paris apresentou melhores predições da curva de retenção de água para solos de textura argilosa, vindo em seguida a arenosa, média e muito argilosa.

2. Observou-se bom comportamento do modelo Arya-Paris quando se considerou todos os solos em conjunto.

3. O fator de escalonamento  $\alpha 1$  foi o que proporcionou melhores predições, vindo em seguida o fator  $\alpha 3$ , com o fator  $\alpha 2$  apresentando comportamento não satisfatório.

4. As predições realizadas com dados de análise granulométrica obtidos pelo método do densímetro de Bouyoucos foram ligeiramente superiores às realizadas com dados do analisador granulométrico.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como o modelo de Arya & Paris (1981) tem uma importante base física, qual seja a semelhança entre a curva de retenção de água e a de distribuição de partículas por tamanho, e como esse modelo foi validado por outros autores (ARYA et al., 1999; VAZ et al., 2005), recomenda-se a continuação dos estudos em solos do Estado da Bahia, pela praticidade que o mesmo proporciona na estimação da curva de retenção de água no solo.

No entanto, recomenda-se o desenvolvimento de calibrações específicas do método de Arya & Paris para os solos avaliados, especialmente quanto ao desenvolvimento ou teste de novos fatores de escalonamento  $\alpha$  que venham a reduzir os erros de estimação, principalmente de subestimação.

Também se sugere a avaliação do modelo em relação à curva de retenção obtida utilizando amostras com estrutura deformada.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L.I.G. **Propriedades físico-hídricas do solo em plantio direto após calagem**. 2007. 65p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2007.

ARYA, L.M.; PARIS, J.F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p.1023-1030, 1981.

ARYA, L.M.; LEIJ, F. J.; VAN GENUCHTEN, M. T.; SHOUSE, P.J. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, p.510-519, 1999.

ARYA, L.M.; BOWMAN, D.C.; THAPA, B.B.; CASSEL, D.K. Scaling soil water characteristics of golf course and athletic field sands from particle-size distribution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 25-31, 2008.

ASSOULINE, S.; TESSIER, D.; BRUAND, A. A conceptual model of the soil water retention curve. **Water Resources Research**, Arizona, v.34, p.223-231, 1998.

BASILE, A.; D'URSO, G. Experimental corrections of simplified methods for predicting water retention curves in clay-loamy soils from particle-size determination. **Soil Technology**, Amsterdam, v.10, p.261-272, 1997.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Science**, v.9, p.177-213, 1989.

Brasil. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: 1983. 780p.

BROOKS, R.H.; COREY, A.T. Properties of porous media affecting fluid flow. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v.92, p.61-88, 1966.

CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.701-709, 2000.

CRESTANA, S. Técnicas recentes de determinação de características do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis-SC. **Resumos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.86- 97.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Programa computacional para modelagem de curvas de retenção de água no solo (SWRC, versão 2.00). **Sciencia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.1, p. 191-192, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

GAVANDE, S. **Física de suelos**: principios y aplicaciones. 1.ed. México: Limusa, 1976. 351p.

GENUCHTEN, M. T. H. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

GREGORICH, G. Quality. LAL, R. (Ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. Columbus: Taylor & Francis Group, 2006. p.1388-1391.

HILLEL, D. **Solo e água**: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 231p

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. London: Academic Press, 1982. 364p.

HWANG, S.; CHOI, S. Use of a lognormal distribution model for estimating soil water retention curves from particle-size distribution data. **Journal of Hydrology**, Wellington, v. 323p.325-334, 2006.

KASTANEK, F.J.; NIELSEN, D.R. Description of soil water characteristics using cubic spline interpolation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.279-283, 2001.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia** – relação solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ, 2000. 497p.

MARTINEZ, M.A. et al. Efeito da textura do solo sobre os parâmetros de alguns modelos matemáticos usados para estimar a curva de retenção de água no solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.4, n.48, p.1-9, 1995.

MAYER, D.G.; STUART, M.A.; SWAIN, A.J. Regression of real-world data on model output: an appropriate overall test of validity. **Agricultural System**, v.45, n.2, p.93-104, 1994.

MELLO, C.R.; OLIVEIRA, G.C. de; FERREIRA, D.F.; LIMA, J.M.; LOPES, D. Modelos para determinação dos parâmetros de Van Genuchten para um Cambissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.23-29, 2005.

MELLO, C.R.; OLIVEIRA, G.C.; FERREIRA, D.F.; LIMA, J.M. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da Microregião Campos das Vertentes, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1319-1324, 2002.

MONTENEGRO, J. **Características físicas e fator de erodibilidade de solos de depressão central do Rio Grande do Sul**. 1976. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil, 1976.

NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, Á. Automated soil particle analyzer based on gamma-ray attenuation. **Comput. Electron. Agr.**, n.31, p.295-304, 2001.

NASCIMENTO, P.S. **Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos em planilha de manejo de irrigação**. 2009. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - UFRB, Cruz das Almas, Bahia, 2009.

OLIVEIRA, L.; RIVEIRO, M.; JACOMINE, P.; RODRIGUES, J.; MARQUES, F. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.315-323, 2002.

PACHEPSKY, Y.A.; RAWLS, W.J. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, n.6, p.1748-1757, 1999.

PERAZA, J.E.S. **Retenção de água e pedofunções para solos do rio Grande do Sul**. 2003. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFSM, Santa Maria, RS, 2003.

PRUNTY, L.; CASEY, F.X.M. Soil water retention curve description using a flexible smooth function. **Vadose Zone Journal**, v.1, p.179-185, 2002.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Piracicaba: Manole, 2004. 478p.

REICHARDT, K. **Sistema solo-planta-atmosfera**. 2.ed. Piracicaba: Fundação Cargil. 1975. 286p.

REZENDE, J. O. **Consequências da aplicação da vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo aluvial; estudo de um caso**. 1979. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – USP, São Paulo, SP, 1979.

RICHARDS, L.A. Methods of measuring moisture tension. **Soil Science**, Baltimore, v.68, p.95-112, 1949.

ROSSI, C.; NIMMO, J.R. Modeling of soil water retention from saturation to oven dryness. **Water Resources Research**, v.30, p.701-708, 1994.

SALCHOW, E.; LAL, R.; FAUSEY, N.; WARD, A. Pedotransfer functions for variable alluvial soils in southern Ohio. **Geoderma**, v.73, p.165-181, 1996.

SANTOS, G.; CAMARGO, F. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Editora Gênese, 1999. 508p.

SKOPP, J.M. Physical properties of primary particles. In: SUMNER, M. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Ratón: CRC, 2000. p.3-17.

TOMAZELLA, J.; HODNETT, M.G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.327-338, 2000.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v.22, p.573-581, 1998.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: EDUFRGS, 2000. p.25-943.

URACH, F.L. **Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação**. 2007. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. **Analisador granulométrico de solos**. São Carlos: Embrapa-CNPDIA, 1996. 5p. (Embrapa-CNPDIA. Comunicado Técnico, 5).

VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A.; MELLO, S. **Análise granulométrica por raios gama**. São Carlos: Embrapa-CNPDIA, 1997. 13p. (Embrapa-CNPDIA. Boletim de Pesquisa, 5).

VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation. **Soil Science**, Baltimore, v.164, n.e6, p.403-410, 1999.

VAZ, C.M.P.; IOSSI, M.F.; NAIME, J.M.; SILVA, A.M. Validation of the Arya and Paris water retention model for brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, p.577-583, 2005.

VAZ, C.M.P.; IOSSI, M.; NAIME, J.M.; SILVA, A.M. da. **Retenção de água no solo estimada através da medida de distribuição do tamanho das partículas do solo**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2003. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 57).

VIEIRA, M.L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo**. 2006. 115p Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

## ANEXOS

## Anexo 1. Solos do Estado da Bahia avaliados.

Solo	Classificação	Profundidade (m)	Município
1		0,40-0,66	Cruz das Almas
2	Argissolo Amarelo Distrocoeso	0,66-1,20	Cruz das Almas
3		1,20-1,40	Cruz das Almas
4	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0-0,20	Amargosa
5		0,20-0,70	Amargosa
6	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0-0,20	Ubaira
7		0,20-0,60	Ubaira
8	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0-0,19	Prado
9		0,57-0,69 <sup>+</sup>	Prado
10	Latossolo Amarelo Distrocoeso	0-0,13	Porto Seguro
11		0,45-0,80	Porto Seguro
12	Latossolo Amarelo Distrocoeso	0-0,22	Una
13		0,84-0,92 <sup>+</sup>	Una
14	Cambissolo Háplico Carbonático	0-0,10	Lapão
15		0,35-0,55	Lapão
16		0-0,10	Lapão
17	Cambissolo Háplico Latossólico	-	Lapão
18		-	Lapão
19	Latossolo Vermelho Eutrófico	0-0,20	Souto Soares
20		0,65-0,80	Souto Soares
21	Latossolo Vermelho-Amarelo Distroférico	0-0,10	Gandu
22		0,70-0,80	Gandu
23		0-0,10	Itamaraju
24		0,10-0,20	Itamaraju
25		0,20-0,40	Itamaraju
26		0,40-0,60	Itamaraju
27		0-0,10	Itamaraju
28		0,10-0,20	Itamaraju
29		0,20-0,40	Itamaraju
30		0,40-0,60	Itamaraju
31	Latossolo Amarelo Distrocoeso	0-0,10	Itamaraju
32		0,10-0,20	Itamaraju
33		0,20-0,40	Itamaraju
34		0,40-0,60	Itamaraju
35		0-0,10	Itamaraju
36		0,10-0,20	Itamaraju
37		0,20-0,40	Itamaraju
38		0,40-0,60	Itamaraju
39		0-0,10	Itamaraju
40		0,10-0,20	Itamaraju

41		0,20-0,40	Itamaraju
42		0,40-0,60	Itamaraju
43		0-0,10	Itamaraju
44		0,10-0,20	Itamaraju
45		0,37-0,63	Rio Real
46		0,63-0,91	Rio Real
47	Latossolo Amarelo Distrocoeso	0,06-0,17	Rio Real
48		0,51-0,81	Rio Real
49		0,10-0,15	Rio Real
50		0,20-0,40	Itabela
51		0,40-0,60	Itabela
52		0-0,12	Itabela
53		0,12-0,20	Itabela
54	Latossolo Amarelo Distrocoeso	0,20-0,40	Itabela
55		0,40-0,60	Itabela
56		0-0,12	Itabela
57		0,12-0,20	Itabela
58		0,20-0,40	Itabela
59		0,40-0,60	Itabela
60	Neossolo Quartzarênico Órtico	0,25-0,75	Ribeira do Amparo
61	Laossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0-0,20	Nova Soure
62	Cambissolo Hápico Carbonático	0,20-0,40	Lapão



**Anexo 2.** Análise granulométrica dos solos avaliados.

Solo	AMG	AG	AM	AF	AMF	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	----- g kg <sup>-1</sup> -----								
<b>Textura arenosa</b>									
49	43	320	314	199	32	908	32	60	Areia
56	79	354	248	145	42	868	62	70	Areia franca
60	1	23	199	410	241	874	55	71	Areia franca
61	1	50	281	305	233	870	59	71	Areia franca
<b>Textura média</b>									
8	52	195	168	255	89	759	79	162	Franco-arenosa
10	79	249	104	284	89	805	84	111	Franco-arenosa
23	34	184	246	235	39	738	76	186	Franco-arenosa
35	76	216	180	195	53	720	104	176	Franco-arenosa
36	78	223	177	178	56	712	122	166	Franco-arenosa
39	145	261	165	144	38	753	72	175	Franco-arenosa
43	114	291	187	149	36	777	91	132	Franco-arenosa
44	120	255	159	144	46	724	121	155	Franco-arenosa
47	30	233	239	183	44	729	78	193	Franco-arenosa
52	37	253	223	192	35	740	129	131	Franco-arenosa
53	91	254	194	176	25	740	98	162	Franco-arenosa
57	78	263	207	161	61	770	99	131	Franco-arenosa
12	5	46	125	412	116	704	93	203	Franco-argiloarenosa
24	38	170	219	233	46	706	84	210	Franco-argiloarenosa
27	28	164	199	211	42	644	85	271	Franco-argiloarenosa
28	30	165	199	211	41	646	102	252	Franco-argiloarenosa
31	32	143	176	186	43	580	100	320	Franco-argiloarenosa
34	34	162	207	227	42	672	87	241	Franco-argiloarenosa
37	89	150	133	148	49	569	114	317	Franco-argiloarenosa
40	135	221	160	158	41	715	82	203	Franco-argiloarenosa
45	44	208	223	176	21	672	55	273	Franco-argiloarenosa
46	43	200	217	164	52	676	31	293	Franco-argiloarenosa
48	40	247	233	157	36	713	54	233	Franco-argiloarenosa
50	73	180	151	159	58	621	83	296	Franco-argiloarenosa
54	74	178	154	169	42	617	109	274	Franco-argiloarenosa
58	42	190	172	190	61	655	102	243	Franco-argiloarenosa
59	56	199	159	143	49	606	79	315	Franco-argiloarenosa
<b>Textura argilosa</b>									
1	40	89	85	131	69	414	106	480	Argilosa
2	29	68	74	118	69	358	103	539	Argilosa

3	33	81	85	129	61	389	115	496	Argilosa
5	39	109	59	65	54	326	89	585	Argilosa
7	4	54	74	169	61	362	91	547	Argilosa
15	8	11	22	84	42	167	399	434	Argilosa
21	4	56	104	146	42	352	112	536	Argilosa
62	15	22	29	107	50	223	253	524	Argilosa
4	65	170	75	132	47	489	110	401	Argilo-arenosa
6	11	96	142	205	57	511	104	385	Argilo-arenosa
11	57	152	116	162	63	550	63	387	Argilo-arenosa
13	3	34	87	358	107	589	54	357	Argilo-arenosa
25	33	136	138	162	43	512	93	395	Argilo-arenosa
26	29	111	128	161	45	474	81	445	Argilo-arenosa
29	22	118	151	208	53	552	85	363	Argilo-arenosa
30	24	115	141	179	46	505	99	396	Argilo-arenosa
32	35	136	157	174	43	545	108	347	Argilo-arenosa
33	25	117	144	171	43	500	107	393	Argilo-arenosa
38	64	134	113	137	56	504	134	362	Argilo-arenosa
41	91	134	122	145	48	540	109	351	Argilo-arenosa
42	120	109	89	122	50	490	109	401	Argilo-arenosa
51	41	129	131	166	52	519	94	387	Argilo-arenosa
55	43	146	140	179	36	544	108	348	Argilo-arenosa
19	6	33	31	43	17	130	435	435	Argilo-siltosa
14	7	13	23	100	52	195	442	363	Franco-argilossiltosa
16	4	18	85	215	66	388	284	328	Franco-argilosa
17	10	21	78	212	57	378	265	357	Franco-argilosa
18	6	19	71	206	55	357	276	367	Franco-argilosa
<b>Textura muito argilosa</b>									
9	26	82	62	120	37	327	52	621	Muito argilosa
20	11	10	12	23	10	66	332	602	Muito argilosa
22	8	35	48	81	35	207	5	788	Muito argilosa

<sup>(1)</sup> AMG = Areia muito grossa; AG = Areia grossa; AM = Areia média; AF = Areia fina; AMF = Areia muito fina.

**Anexo 3.** Porosidade Total, macro e microporosidade, densidade de partículas e densidade do solo, para os solos avaliados.

Solo	Porosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			Densidade (kg dm <sup>-3</sup> )	
	Total	Macroporosidade	Microporosidade	Solo	Partículas
<b>Textura Arenosa</b>					
49	0,3436	0,2370	0,1066	1,69	2,58
56	0,4013	0,2626	0,1388	1,59	2,50
60	0,3735	0,2668	0,1067	1,63	2,60
61	0,4013	0,2626	0,1388	1,55	2,59
<b>Textura Média</b>					
8	0,3594	0,1608	0,1986	1,56	2,43
10	0,4168	0,2538	0,1630	1,36	2,32
12	0,3659	0,0903	0,2756	1,53	2,41
23	0,4578	0,2141	0,2437	1,36	2,51
24	0,4021	0,1510	0,2511	1,56	2,61
27	0,4564	0,1753	0,2811	1,31	2,41
31	0,4284	0,1338	0,2946	1,41	2,47
34	0,4285	0,1760	0,2525	1,48	2,58
35	0,4252	0,2329	0,1923	1,43	2,49
36	0,4572	0,2607	0,1965	1,33	2,46
37	0,3747	0,1140	0,2607	1,57	2,5
39	0,4809	0,2693	0,2116	1,30	2,51
40	0,4967	0,1362	0,3605	1,25	2,49
43	0,4851	0,3009	0,1842	1,26	2,44
44	0,4303	0,2603	0,1700	1,39	2,44
45	0,3020	0,0901	0,2119	1,73	2,48
46	0,3965	0,1771	0,2195	1,48	2,45
47	0,2969	0,0827	0,2142	1,73	2,46
48	0,3410	0,1493	0,1917	1,64	2,48
50	0,3760	0,0910	0,2850	1,47	2,35
52	0,4329	0,2499	0,1830	1,40	2,47
53	0,3628	0,1366	0,2262	1,51	2,37
54	0,3731	0,0879	0,2852	1,47	2,34
57	0,4076	0,1945	0,2131	1,44	2,42
58	0,4464	0,2103	0,2361	1,33	2,40
59	0,4530	0,1739	0,2791	1,31	2,40
<b>Textura Argilosa</b>					
1	0,4028	0,1388	0,2640	1,45	2,43
2	0,5017	0,2663	0,2354	1,21	2,43
3	0,4056	0,1274	0,2782	1,44	2,43
4	0,4150	0,0829	0,3321	1,39	2,37
5	0,4410	0,1205	0,3205	1,29	2,31
6	0,4586	0,1505	0,3082	1,31	2,43
7	0,4442	0,1276	0,3166	1,32	2,37
11	0,4376	0,1393	0,2983	1,34	2,39

13	0,4541	0,1622	0,2919	1,40	2,56
14	0,4892	0,1032	0,3860	1,21	2,36
15	0,4707	0,0705	0,4002	1,27	2,41
16	0,4045	0,0688	0,3358	1,44	2,42
17	0,3834	0,0618	0,3217	1,53	2,48
18	0,4306	0,1061	0,3245	1,43	2,52
19	0,4224	0,0718	0,3506	1,32	2,28
21	0,5369	0,2006	0,3363	1,06	2,28
26	0,4560	0,1417	0,3143	1,35	2,47
29	0,4106	0,1229	0,2877	1,49	2,52
30	0,4967	0,2076	0,2891	1,25	2,48
32	0,3873	0,0853	0,3020	1,56	2,55
33	0,4487	0,1524	0,2963	1,34	2,43
38	0,4542	0,1750	0,2792	1,38	2,53
41	0,4082	0,1359	0,2723	1,49	2,52
42	0,4702	0,2117	0,2585	1,31	2,47
51	0,4168	0,1240	0,2928	1,40	2,40
55	0,4515	0,0974	0,3541	1,28	2,34
62	0,4730	0,1768	0,2962	1,23	2,34
<b>Textura Muito Argilosa</b>					
9	0,3926	0,0304	0,3622	1,47	2,41
20	0,4447	0,0999	0,3449	1,32	2,37
22	0,5259	0,1836	0,3423	1,10	2,32

**Anexo 4.** Relação entre a concentração (%) e diâmetro das partículas (µm) obtida pelo analisador granulométrico.

Concentração (%)	Diâmetro da Partícula (µm)	Concentração (%)	Diâmetro da Partícula (µm)	Concentração (%)	Diâmetro da Partícula (Um)
<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
84.87	576.63	83.50	575.45	87.20	575.97
80.10	367.73	85.45	367.30	90.33	367.47
75.80	277.17	81.80	276.95	84.10	277.03
75.13	228.43	77.95	228.35	79.43	228.37
78.47	197.50	78.90	197.45	77.13	197.50
73.30	175.93	69.35	175.95	72.20	175.90
69.50	159.93	81.25	160.00	73.87	159.93
74.43	142.23	76.55	142.35	77.83	142.27
71.60	125.63	76.10	125.75	74.93	125.70
69.53	113.73	78.80	113.85	70.37	113.80
74.77	104.63	73.75	104.75	73.77	104.70
70.07	94.33	75.20	94.45	69.43	94.40
66.20	83.37	70.40	83.45	70.00	83.43
62.47	73.37	72.00	73.45	67.33	73.40
62.77	62.07	68.55	62.15	67.10	62.10
61.97	51.80	66.90	51.90	67.40	51.87
61.30	42.03	66.30	42.05	62.60	42.03
60.33	31.57	64.40	31.60	65.37	31.60
60.17	24.40	65.30	24.40	61.97	24.37
62.20	19.97	63.60	19.95	62.87	19.93
59.90	16.43	65.15	16.45	61.50	16.43
59.83	13.73	59.90	13.75	61.97	13.73
61.13	11.23	63.60	11.25	59.10	11.27
58.03	9.27	63.45	9.25	61.97	9.27
54.97	8.27	61.00	8.30	61.33	8.27
58.17	7.33	63.15	7.30	60.63	7.33
57.77	6.43	61.30	6.40	60.37	6.43
56.57	5.43	64.05	5.45	61.17	5.43
55.80	4.33	59.95	4.35	58.53	4.33
56.40	3.33	62.20	3.30	58.70	3.33
56.23	2.60	59.80	2.55	57.23	2.60
56.67	2.10	59.45	2.05	58.23	2.03
<b>4</b>		<b>5</b>		<b>6</b>	
68.47	582.90	75.73	580.53	77.23	575.00
70.73	371.67	80.63	370.27	73.37	366.90
61.20	280.13	72.93	279.07	74.50	276.60
65.13	230.83	77.57	230.00	69.20	228.00
60.53	199.53	73.77	198.83	69.83	197.17
49.83	177.73	66.20	177.13	69.27	175.63
51.90	161.57	69.10	161.03	66.50	159.70
54.23	143.70	76.67	143.20	60.90	142.07
49.90	126.93	71.13	126.53	60.50	125.50
52.63	114.93	70.10	114.50	59.57	113.63
48.70	105.73	68.00	105.40	64.20	104.57

52.13	95.33	71.53	94.97	63.00	94.23
50.13	84.23	68.20	83.97	57.13	83.30
47.03	74.10	71.57	73.83	56.23	73.30
49.57	62.70	69.37	62.50	58.83	62.00
50.00	52.33	71.37	52.20	51.80	51.77
47.80	42.40	69.57	42.27	50.47	41.97
47.87	31.87	68.97	31.77	51.33	31.57
45.13	24.63	64.87	24.53	51.40	24.37
46.13	20.17	68.87	20.10	49.23	19.93
44.80	16.60	67.80	16.53	49.77	16.40
44.10	13.87	66.77	13.83	49.70	13.73
44.23	11.37	65.10	11.33	47.50	11.23
44.57	9.30	68.57	9.30	47.50	9.23
45.27	8.37	64.83	8.33	48.40	8.23
43.83	7.40	66.07	7.33	47.37	7.33
44.73	6.50	65.00	6.43	48.20	6.40
44.73	5.50	63.47	5.50	46.53	5.43
43.73	4.40	65.03	4.40	45.87	4.33
44.53	3.30	62.37	3.30	46.37	3.30
41.77	2.60	62.63	2.60	45.83	2.60
41.70	2.10	63.23	2.10	45.63	2.10
	<b>7</b>		<b>8</b>		<b>9</b>
83.37	570.13	52.37	583.47	77.97	578.73
84.80	364.00	43.33	371.23	79.97	368.43
76.53	274.47	38.53	279.60	79.17	277.57
82.53	226.30	36.63	230.17	79.00	228.53
79.17	195.73	36.60	198.80	74.30	197.43
80.63	174.40	37.87	176.97	75.47	175.80
74.60	158.57	31.13	160.77	78.47	159.77
81.13	141.07	30.23	142.90	73.83	142.00
71.73	124.67	28.57	126.20	75.37	125.40
71.73	112.87	31.60	114.17	72.50	113.47
71.30	103.90	27.00	105.00	74.47	104.40
70.73	93.67	27.53	94.63	71.50	94.07
68.17	82.77	25.47	83.63	70.50	83.10
69.40	72.83	25.33	73.57	72.43	73.13
63.40	61.60	21.10	62.20	69.37	61.87
61.43	51.43	21.37	51.90	69.03	51.63
63.80	41.73	20.83	42.07	69.40	41.83
63.83	31.37	22.33	31.63	68.60	31.47
62.07	24.20	21.07	24.43	68.90	24.27
62.20	19.83	19.53	19.97	68.87	19.83
63.23	16.33	19.80	16.47	68.50	16.37
63.83	13.63	20.47	13.77	66.83	13.67
61.47	11.17	20.27	11.27	67.63	11.17
59.20	9.17	17.90	9.27	65.63	9.17
59.87	8.20	18.00	8.27	67.27	8.27
60.53	7.23	18.03	7.30	68.33	7.27
61.77	6.33	19.23	6.40	67.47	6.37
62.43	5.43	19.80	5.47	68.07	5.40
57.70	4.33	16.67	4.37	67.43	4.30
60.77	3.27	18.83	3.30	66.47	3.30
58.23	2.53	18.30	2.60	64.67	2.57

57.10	2.03	18.33	2.10	67.00	2.07
	<b>10</b>		<b>11</b>		<b>12</b>
42.03	589.17	64.77	581.30	91.13	581.60
30.23	374.77	68.17	370.03	84.40	370.23
31.83	282.23	61.90	278.77	68.63	278.90
34.53	232.33	64.57	229.53	66.93	229.67
19.47	200.67	59.83	198.30	60.23	198.40
16.87	178.63	64.13	176.57	59.97	176.63
20.37	162.27	51.87	160.43	60.43	160.53
21.13	144.23	56.60	142.63	54.10	142.70
18.67	127.37	54.90	125.97	48.43	126.03
20.33	115.20	53.67	113.97	40.73	114.03
23.20	105.97	51.40	104.83	42.37	104.90
19.80	95.50	52.83	94.47	37.43	94.57
17.17	84.37	50.23	83.47	39.20	83.50
16.77	74.20	49.70	73.40	34.23	73.50
16.13	62.73	46.80	62.13	30.90	62.13
16.40	52.37	44.53	51.87	30.53	51.87
14.90	42.47	46.43	42.00	31.20	42.03
16.17	31.93	44.20	31.60	31.63	31.60
17.43	24.63	48.50	24.33	28.90	24.40
14.80	20.17	46.13	19.93	29.63	19.97
17.40	16.57	43.73	16.43	29.03	16.47
15.23	13.87	44.20	13.77	28.27	13.77
14.30	11.37	43.70	11.27	30.73	11.27
18.73	9.37	45.63	9.27	29.77	9.27
15.57	8.37	41.70	8.27	30.23	8.27
16.40	7.40	44.50	7.30	30.67	7.30
12.63	6.47	42.43	6.40	26.80	6.40
18.17	5.50	44.80	5.47	28.90	5.43
15.53	4.40	41.33	4.37	26.93	4.37
18.10	3.30	41.30	3.30	26.40	3.30
14.23	2.60	39.30	2.60	26.27	2.60
15.00	2.10	41.17	2.10	24.53	2.10
	<b>13</b>		<b>14</b>		<b>15</b>
82.17	570.87	72.03	564.50	73.93	562.17
86.07	363.73	68.03	359.90	67.90	358.47
77.17	274.07	63.27	271.27	65.70	270.20
77.30	225.77	66.80	223.50	70.60	222.67
71.53	195.13	62.90	193.17	63.07	192.50
66.17	173.77	72.03	172.10	67.73	171.47
64.50	157.90	62.40	156.43	69.57	155.90
63.13	140.43	61.53	139.10	69.30	138.63
61.90	124.03	63.67	122.90	63.63	122.50
60.17	112.27	66.23	111.23	66.23	110.83
57.57	103.27	64.67	102.33	65.40	102.00
55.67	93.10	62.67	92.27	63.23	91.97
53.50	82.27	60.37	81.53	60.63	81.27
51.57	72.40	62.07	71.73	59.43	71.53
49.57	61.20	74.70	60.67	72.13	60.50
49.37	51.10	73.37	50.70	71.53	50.50
46.63	41.40	68.90	41.07	69.27	40.90
47.97	31.13	67.53	30.87	65.77	30.77

44.43	24.00	63.83	23.83	64.97	23.77
47.13	19.70	62.47	19.53	61.80	19.47
45.03	16.20	58.73	16.03	59.83	16.00
45.80	13.53	58.00	13.43	57.77	13.40
44.63	11.07	53.93	11.00	55.37	10.93
44.83	9.13	52.00	9.03	53.87	9.03
45.80	8.17	50.47	8.10	51.37	8.03
46.10	7.20	46.10	7.13	50.03	7.13
45.87	6.30	44.60	6.27	46.10	6.23
43.03	5.37	42.17	5.30	45.80	5.30
46.33	4.30	35.30	4.23	42.73	4.23
44.67	3.27	31.93	3.20	38.27	3.20
46.43	2.53	29.47	2.50	35.13	2.50
44.03	2.03	24.90	2.00	31.80	2.00
	<b>16</b>		<b>17</b>		<b>18</b>
89.30	570.43	82.70	567.03	81.77	559.97
93.23	363.47	81.37	361.40	78.53	356.73
81.43	273.87	76.47	272.37	78.07	268.77
84.20	225.63	79.83	224.40	73.20	221.37
77.07	194.97	73.63	194.00	79.33	191.30
72.50	173.63	71.47	172.80	71.53	170.33
77.83	157.80	65.30	157.03	69.97	154.83
74.50	140.37	72.47	139.67	67.80	137.67
75.83	123.93	66.20	123.37	68.97	121.60
77.47	112.17	64.03	111.63	65.47	110.03
73.43	103.23	66.47	102.70	59.83	101.20
72.47	93.00	67.03	92.60	64.40	91.27
69.87	82.20	61.37	81.83	57.57	80.60
67.00	72.30	60.13	72.00	57.57	70.93
64.27	61.17	63.00	60.87	59.77	59.97
63.93	51.07	63.03	50.83	54.20	50.07
60.03	41.37	60.90	41.20	51.27	40.60
60.67	31.13	57.07	30.97	50.47	30.50
58.10	24.00	56.50	23.93	46.60	23.57
55.67	19.67	55.07	19.57	43.33	19.30
53.47	16.20	52.73	16.10	42.53	15.90
52.30	13.53	51.07	13.50	40.27	13.30
51.27	11.07	48.10	11.00	38.37	10.90
47.20	9.13	45.37	9.07	35.77	8.90
48.33	8.13	45.17	8.10	34.90	8.00
48.10	7.20	45.90	7.17	31.70	7.10
44.37	6.30	43.30	6.27	32.70	6.20
40.93	5.33	40.43	5.33	29.77	5.27
36.33	4.30	38.50	4.27	27.97	4.20
33.97	3.27	36.37	3.23	25.30	3.20
29.63	2.53	33.47	2.53	25.67	2.50
25.43	2.03	29.57	2.00	24.00	2.00
	<b>19</b>		<b>20</b>		<b>21</b>
80.23	561.63	62.43	557.47	89.77	557.17
84.20	357.83	65.50	355.33	81.50	355.23
77.30	269.63	64.60	267.83	87.10	267.73
83.63	222.07	68.27	220.67	86.67	220.63
84.20	191.93	64.33	190.77	81.73	190.73



79.63	170.90	70.20	169.90	81.43	169.93
77.30	155.30	65.03	154.43	77.40	154.47
82.40	138.13	65.67	137.37	82.77	137.33
79.10	122.00	61.50	121.33	79.83	121.37
80.10	110.40	66.20	109.80	80.63	109.80
85.70	101.60	64.97	101.00	79.93	101.03
81.33	91.53	66.37	91.07	78.00	91.10
83.17	80.90	67.67	80.47	78.03	80.53
81.93	71.17	66.23	70.80	76.83	70.80
88.97	60.20	73.43	59.90	76.80	59.93
82.17	50.27	76.50	50.03	74.33	50.03
87.63	40.70	73.50	40.50	73.23	40.53
82.50	30.63	73.07	30.50	71.90	30.47
80.60	23.63	74.90	23.50	73.37	23.50
79.13	19.33	71.67	19.27	70.90	19.23
77.57	15.93	70.67	15.87	72.67	15.87
74.77	13.30	70.17	13.27	68.63	13.27
73.17	10.90	67.97	10.83	71.90	10.87
71.93	8.97	67.87	8.90	68.80	8.93
68.37	8.00	68.83	8.00	69.57	7.97
65.03	7.10	67.40	7.07	68.03	7.07
63.90	6.20	65.83	6.20	69.37	6.17
60.83	5.30	65.77	5.23	69.03	5.27
53.90	4.20	64.27	4.20	67.47	4.20
48.93	3.20	63.50	3.20	65.83	3.20
43.33	2.50	61.47	2.50	64.13	2.50
37.27	2.00	60.83	2.00	62.27	2.00
	<b>22</b>		<b>23</b>		<b>24</b>
95.97	545.77	75.93	584.50	61.53	584.40
90.33	348.43	68.77	371.83	62.77	371.87
94.47	262.70	59.17	280.03	52.60	280.07
92.03	216.63	56.60	230.50	53.87	230.53
86.80	187.33	51.60	199.10	44.50	199.13
89.17	166.90	53.43	177.23	56.97	177.27
90.03	151.77	50.20	161.00	50.90	161.07
87.97	135.03	49.83	143.13	49.20	143.20
87.77	119.30	43.70	126.37	44.13	126.47
87.37	108.00	43.67	114.33	40.97	114.40
88.93	99.43	44.03	105.17	41.27	105.23
84.90	89.60	46.07	94.80	39.43	94.83
85.60	79.23	44.40	83.73	41.23	83.77
84.53	69.67	44.00	73.63	41.47	73.70
85.23	58.97	39.67	62.27	39.43	62.33
83.00	49.23	36.93	51.97	40.13	52.03
82.47	39.90	41.60	42.10	40.17	42.17
84.73	30.03	39.43	31.67	37.57	31.70
83.07	23.17	39.30	24.47	37.60	24.47
83.10	18.97	38.37	20.03	36.90	20.03
80.70	15.60	39.47	16.50	37.10	16.50
83.23	13.07	38.57	13.77	39.07	13.77
82.83	10.67	36.27	11.27	37.33	11.27
80.40	8.77	41.00	9.27	36.17	9.27
81.73	7.87	38.13	8.27	38.43	8.27

81.30	6.97	38.13	7.37	35.17	7.37
81.43	6.07	38.00	6.43	35.33	6.43
81.17	5.17	37.07	5.47	35.10	5.47
80.90	4.13	36.93	4.37	34.10	4.37
80.27	3.13	35.67	3.30	35.00	3.30
79.60	2.47	34.23	2.60	35.47	2.60
78.47	2.00	33.00	2.10	33.37	2.10
	<b>25</b>		<b>26</b>		<b>27</b>
78.30	578.53	87.87	576.90	78.73	582.70
74.47	368.33	76.47	367.40	68.90	370.97
71.60	277.47	76.33	276.80	70.67	279.43
71.63	228.50	75.70	227.93	69.67	230.07
66.30	197.40	74.33	196.97	54.33	198.73
66.47	175.77	72.10	175.40	60.20	176.93
70.57	159.70	69.10	159.37	56.30	160.77
66.13	141.97	76.53	141.70	50.80	142.93
66.77	125.40	72.23	125.13	56.83	126.23
63.57	113.47	75.67	113.23	48.60	114.20
57.27	104.40	70.33	104.17	56.83	105.03
61.83	94.10	72.63	93.90	54.43	94.67
66.47	83.13	68.37	82.93	52.90	83.67
66.47	73.10	71.43	72.97	49.47	73.60
65.60	61.83	67.40	61.73	45.10	62.23
62.27	51.60	65.07	51.53	48.90	51.97
63.70	41.83	67.63	41.77	48.60	42.13
59.37	31.47	63.60	31.43	47.27	31.67
59.37	24.30	62.33	24.23	47.20	24.40
59.93	19.90	62.10	19.83	46.73	20.00
59.67	16.33	60.90	16.33	48.10	16.43
58.37	13.67	59.57	13.67	44.27	13.77
57.23	11.17	55.07	11.17	44.57	11.27
56.53	9.17	56.90	9.17	45.97	9.27
54.20	8.27	54.73	8.23	43.70	8.27
55.23	7.27	54.83	7.27	42.80	7.37
53.13	6.37	56.00	6.37	43.33	6.40
53.00	5.40	52.40	5.40	41.60	5.47
52.40	4.33	48.93	4.30	39.93	4.37
49.53	3.30	49.37	3.30	41.13	3.30
48.90	2.57	49.20	2.57	36.77	2.60
48.07	2.07	49.63	2.07	38.63	2.10
	<b>28</b>		<b>29</b>		<b>30</b>
47.77	565.23	61.97	566.57	64.10	562.87
45.47	360.37	52.97	361.23	59.00	359.17
39.67	271.63	63.57	272.27	57.10	270.77
34.23	223.83	56.40	224.37	56.87	223.20
36.67	193.50	57.00	193.93	51.97	193.00
33.47	172.37	50.30	172.77	58.17	171.97
38.60	156.67	49.37	157.03	55.07	156.33
38.27	139.33	53.33	139.67	50.27	139.07
30.00	123.10	44.40	123.37	50.23	122.87
31.47	111.40	48.63	111.67	48.53	111.27
28.87	102.50	42.93	102.73	49.87	102.33
31.33	92.40	45.73	92.67	49.70	92.27

30.83	81.67	45.63	81.87	48.70	81.53
32.33	71.83	44.87	72.03	47.63	71.77
29.23	60.77	41.77	60.93	49.37	60.70
31.40	50.77	43.70	50.90	45.23	50.70
31.53	41.10	41.63	41.23	46.20	41.07
28.60	30.93	41.07	30.97	46.13	30.90
30.30	23.83	41.57	23.93	45.23	23.83
28.37	19.53	41.40	19.57	43.20	19.50
30.30	16.07	42.67	16.17	43.23	16.10
28.73	13.47	41.07	13.50	43.57	13.43
29.90	11.00	41.60	11.03	40.53	11.00
28.87	9.07	37.53	9.07	42.27	9.07
28.07	8.10	40.27	8.10	40.00	8.07
27.73	7.13	37.80	7.17	38.20	7.17
29.60	6.23	39.70	6.27	38.80	6.27
26.90	5.33	38.87	5.33	39.80	5.30
25.23	4.27	36.27	4.27	37.87	4.27
23.90	3.27	34.80	3.27	35.67	3.23
25.03	2.57	30.73	2.57	33.37	2.53
24.10	2.03	29.97	2.03	33.33	2.03
	<b>31</b>		<b>32</b>		<b>33</b>
52.93	562.80	50.33	551.77	89.67	591.33
54.23	359.23	47.63	352.67	74.80	376.60
52.67	270.80	45.17	265.97	74.20	283.73
46.57	223.27	45.70	219.43	78.13	233.67
52.10	193.10	43.63	189.83	79.47	201.93
54.53	172.00	34.97	169.17	67.70	179.83
52.80	156.40	37.07	153.87	69.13	163.40
42.40	139.13	37.47	136.93	73.03	145.30
42.17	122.97	41.03	121.03	68.03	128.30
44.20	111.30	38.07	109.60	64.57	116.10
40.17	102.40	36.30	100.87	66.33	106.80
42.47	92.37	39.50	90.97	62.33	96.27
42.97	81.63	39.87	80.40	65.90	85.10
42.33	71.80	37.97	70.77	62.53	74.87
36.27	60.77	37.63	59.87	60.53	63.30
39.43	50.73	36.77	50.00	60.83	52.87
37.87	41.13	37.00	40.53	58.30	42.83
36.47	30.93	34.20	30.50	55.33	32.20
37.63	23.87	34.20	23.53	52.03	24.87
36.83	19.53	32.83	19.27	51.60	20.33
35.33	16.10	30.20	15.87	47.73	16.73
33.57	13.43	32.13	13.23	47.43	14.00
34.17	11.00	31.87	10.87	45.73	11.47
33.17	9.07	29.60	8.93	41.97	9.43
32.70	8.07	29.30	7.97	43.17	8.43
31.30	7.17	27.67	7.03	41.17	7.43
31.20	6.27	27.47	6.17	38.57	6.53
28.87	5.33	26.70	5.27	40.63	5.57
28.93	4.27	26.60	4.17	37.37	4.47
25.30	3.27	24.03	3.17	34.47	3.37
22.63	2.53	22.50	2.47	31.77	2.60
21.33	2.00	19.73	2.00	31.97	2.10

	<b>34</b>		<b>35</b>		<b>36</b>	
68.73	591.23	54.43	585.57	49.80	583.93	
55.80	376.63	50.97	373.23	39.60	372.33	
51.20	283.73	47.80	281.30	38.77	280.63	
52.67	233.73	48.10	231.77	40.50	231.27	
45.10	201.97	34.37	200.33	29.20	199.87	
45.10	179.87	33.47	178.43	30.17	178.03	
41.33	163.43	34.63	162.20	31.67	161.87	
46.47	145.33	32.83	144.23	29.67	143.93	
38.70	128.37	35.17	127.40	31.57	127.17	
38.27	116.17	33.37	115.30	29.83	115.07	
42.13	106.87	32.47	106.10	32.83	105.90	
38.17	96.33	30.20	95.63	29.13	95.47	
38.63	85.10	31.60	84.50	28.90	84.37	
36.97	74.87	27.17	74.33	26.37	74.20	
39.00	63.33	25.43	62.90	23.70	62.77	
35.80	52.87	23.67	52.53	22.53	52.40	
36.63	42.83	24.80	42.57	21.83	42.47	
35.57	32.20	23.83	32.03	23.20	31.97	
33.03	24.83	23.07	24.67	23.47	24.63	
34.00	20.37	25.43	20.20	21.27	20.20	
32.03	16.77	25.77	16.63	22.67	16.63	
34.67	14.00	26.97	13.93	21.60	13.90	
32.57	11.43	24.17	11.40	21.97	11.37	
31.63	9.43	25.20	9.37	19.93	9.37	
30.67	8.43	24.83	8.37	21.73	8.37	
29.93	7.47	25.83	7.37	23.83	7.37	
27.50	6.57	22.67	6.47	21.73	6.47	
29.30	5.57	21.13	5.50	20.67	5.50	
24.50	4.47	22.30	4.40	20.63	4.40	
24.53	3.37	21.20	3.37	19.77	3.37	
22.07	2.60	21.27	2.60	17.07	2.60	
21.33	2.10	20.40	2.10	18.57	2.10	
	<b>37</b>		<b>38</b>		<b>39</b>	
72.60	590.03	72.23	579.33	49.90	586.37	
66.33	376.03	68.20	368.87	45.53	373.27	
66.43	283.33	65.97	277.90	41.30	281.13	
65.17	233.40	62.37	228.83	49.50	231.50	
66.70	201.73	61.87	197.73	40.97	200.03	
54.83	179.70	58.03	176.07	38.60	178.10	
58.60	163.33	66.43	160.00	31.23	161.80	
57.37	145.20	55.83	142.27	34.93	143.87	
55.70	128.30	53.57	125.63	34.67	127.03	
48.30	116.10	53.83	113.67	28.43	114.93	
57.67	106.80	52.83	104.57	33.30	105.73	
52.93	96.30	52.13	94.27	33.53	95.30	
53.87	85.07	52.83	83.30	29.17	84.20	
50.70	74.87	51.87	73.23	26.07	74.10	
50.53	63.30	50.17	61.93	24.77	62.63	
44.83	52.87	46.97	51.73	23.47	52.30	
48.33	42.87	49.93	41.93	24.07	42.37	
47.50	32.20	48.23	31.50	24.40	31.87	
47.13	24.87	45.13	24.33	25.77	24.57	

46.23	20.37	45.83	19.90	23.67	20.10
48.10	16.77	47.47	16.40	22.70	16.57
45.83	14.03	48.23	13.73	24.70	13.87
44.60	11.47	45.30	11.20	22.33	11.37
45.50	9.43	44.93	9.20	21.40	9.30
45.03	8.43	42.67	8.23	22.37	8.33
45.20	7.47	43.03	7.30	24.10	7.37
43.50	6.53	43.80	6.43	22.77	6.43
40.80	5.53	39.70	5.43	23.77	5.47
38.67	4.40	39.60	4.33	21.83	4.37
41.67	3.40	38.70	3.27	23.13	3.37
38.77	2.60	38.27	2.57	22.87	2.57
37.83	2.10	37.27	2.07	20.10	2.10
	<b>40</b>		<b>41</b>		<b>42</b>
52.77	587.37	73.33	585.10	70.23	584.30
40.00	374.00	65.43	372.77	68.00	372.37
42.37	281.77	66.27	280.83	69.37	280.60
43.10	232.03	57.20	231.37	58.63	231.20
36.17	200.50	58.73	199.93	66.07	199.80
22.97	178.53	58.27	178.07	62.50	177.97
34.17	162.23	60.20	161.83	61.97	161.73
30.93	144.23	57.90	143.87	65.90	143.83
35.07	127.37	53.47	127.07	60.20	127.07
30.23	115.27	53.53	115.00	58.77	114.97
32.37	106.03	53.70	105.80	63.77	105.80
31.53	95.57	53.87	95.40	58.03	95.37
31.03	84.43	53.20	84.27	58.37	84.27
30.17	74.30	52.97	74.13	56.83	74.13
29.77	62.80	49.30	62.70	52.53	62.70
27.43	52.43	50.50	52.37	54.13	52.37
23.70	42.50	49.83	42.43	54.93	42.43
24.93	31.93	48.07	31.93	54.43	31.90
26.77	24.63	50.07	24.60	53.70	24.63
23.13	20.17	48.40	20.13	52.23	20.17
25.70	16.63	47.83	16.57	50.03	16.60
24.90	13.90	48.43	13.87	51.27	13.90
24.83	11.40	46.77	11.37	52.00	11.33
25.77	9.33	48.27	9.33	49.53	9.33
24.47	8.33	47.03	8.33	49.03	8.33
23.13	7.43	44.23	7.40	48.67	7.37
24.43	6.47	44.20	6.47	50.57	6.47
25.50	5.50	41.60	5.47	52.00	5.47
23.07	4.37	41.93	4.37	48.63	4.37
25.23	3.37	40.63	3.37	46.23	3.37
23.20	2.60	38.47	2.60	45.37	2.60
21.80	2.10	40.13	2.10	46.30	2.10
	<b>43</b>		<b>44</b>		<b>45</b>
47.53	591.97	44.60	595.50	59.00	582.60
37.80	377.07	38.50	379.27	54.50	370.20
35.77	284.07	34.97	285.73	51.50	278.67
29.13	233.97	26.13	235.30	47.30	229.27
32.07	202.20	30.10	203.33	42.67	197.93
38.10	180.07	38.43	181.03	46.17	176.13

43.13	163.63	15.33	164.53	49.33	160.00
30.73	145.53	23.50	146.30	42.50	142.17
29.47	128.53	25.63	129.20	37.43	125.50
33.80	116.30	23.53	116.93	34.53	113.53
28.57	107.00	17.67	107.60	37.27	104.40
29.20	96.43	22.23	96.97	38.17	94.10
31.77	85.20	25.30	85.67	38.13	83.10
27.17	74.97	26.23	75.37	36.43	73.07
26.20	63.40	22.50	63.73	35.37	61.80
24.13	52.93	20.57	53.23	39.13	51.57
23.43	42.87	17.23	43.10	35.50	41.77
25.10	32.23	20.87	32.43	31.60	31.43
18.90	24.87	19.67	25.03	34.57	24.27
19.33	20.37	21.30	20.47	33.27	19.83
23.17	16.80	19.83	16.87	34.30	16.37
22.67	14.00	20.50	14.10	36.37	13.67
20.87	11.47	19.90	11.53	37.67	11.17
23.43	9.43	20.40	9.47	33.70	9.20
21.47	8.43	20.77	8.47	34.60	8.20
23.43	7.47	19.63	7.50	34.80	7.30
20.10	6.57	19.93	6.57	33.60	6.37
22.97	5.57	20.83	5.57	34.53	5.40
20.27	4.47	19.33	4.47	33.63	4.33
20.73	3.37	18.30	3.40	34.37	3.27
20.37	2.63	17.53	2.67	33.17	2.53
18.47	2.10	19.03	2.13	35.00	2.03

**46**

**47**

**48**

68.43	582.63	55.87	587.17	59.63	588.53
58.97	370.30	54.10	373.10	43.03	373.97
51.17	278.80	44.13	280.90	46.30	281.53
47.67	229.40	44.00	231.07	42.40	231.60
48.00	198.07	37.73	199.47	41.73	199.93
44.93	176.27	35.87	177.53	44.77	177.93
40.10	160.10	37.40	161.23	44.83	161.60
50.70	142.30	35.50	143.30	40.00	143.60
43.73	125.63	31.87	126.47	43.03	126.73
47.73	113.63	32.17	114.43	39.20	114.70
38.33	104.50	34.17	105.20	35.43	105.47
40.87	94.17	30.37	94.83	37.67	95.03
43.17	83.20	32.77	83.73	32.50	83.93
42.20	73.17	27.80	73.67	35.20	73.83
40.10	61.87	29.23	62.27	31.33	62.43
39.67	51.67	26.27	51.97	30.67	52.10
39.63	41.83	28.17	42.13	28.30	42.23
37.93	31.43	27.17	31.67	29.90	31.73
37.17	24.30	27.73	24.40	32.97	24.50
37.20	19.87	27.40	20.00	31.60	20.07
38.20	16.37	25.57	16.47	31.43	16.50
38.63	13.70	26.13	13.77	29.60	13.83
35.13	11.17	24.13	11.27	30.27	11.33
37.90	9.20	27.17	9.23	33.33	9.27
36.60	8.23	26.73	8.30	28.30	8.33
39.00	7.27	23.23	7.33	28.33	7.33

40.30	6.37	24.50	6.43	29.10	6.43
37.47	5.43	27.27	5.43	30.30	5.43
37.00	4.33	23.83	4.33	28.00	4.40
36.23	3.30	21.77	3.30	28.07	3.30
38.53	2.57	18.67	2.60	25.40	2.60
37.80	2.03	20.97	2.10	26.77	2.10
	<b>49</b>		<b>50</b>		<b>51</b>
35.95	589.95	70.07	582.07	74.30	582.27
18.90	375.00	65.03	370.47	74.87	370.70
16.75	282.35	57.80	279.07	62.33	279.23
20.85	232.30	56.10	229.80	69.77	229.97
22.85	200.55	48.63	198.53	59.03	198.67
10.80	178.50	44.13	176.73	64.83	176.87
7.30	162.10	50.53	160.63	64.30	160.70
13.95	144.10	49.47	142.80	58.60	142.87
15.55	127.20	47.20	126.10	53.73	126.20
10.00	115.10	44.33	114.07	56.27	114.17
17.20	105.80	50.47	104.93	57.47	105.03
9.55	95.35	43.80	94.57	56.77	94.67
15.15	84.25	45.17	83.57	59.27	83.63
6.65	74.10	44.10	73.47	52.43	73.57
8.10	62.65	44.67	62.17	53.07	62.20
6.80	52.25	43.37	51.90	46.30	51.93
11.20	42.40	43.90	42.07	53.67	42.10
9.60	31.90	41.97	31.60	49.90	31.67
9.95	24.55	43.53	24.40	50.53	24.40
10.45	20.15	40.53	19.97	49.90	20.00
9.65	16.55	42.30	16.43	50.20	16.43
8.85	13.85	41.70	13.73	49.73	13.77
10.70	11.35	41.30	11.27	48.23	11.27
4.85	9.30	37.73	9.27	47.60	9.27
12.00	8.35	39.60	8.27	48.97	8.27
10.35	7.40	37.53	7.33	46.53	7.37
11.20	6.45	37.30	6.43	47.33	6.43
12.20	5.50	37.30	5.47	45.53	5.47
9.25	4.40	35.00	4.37	44.43	4.37
9.60	3.30	34.53	3.30	44.77	3.30
12.00	2.60	33.33	2.60	43.00	2.60
12.55	2.10	33.53	2.10	43.20	2.07
	<b>52</b>		<b>53</b>		<b>54</b>
33.20	590.13	47.23	588.30	60.53	586.37
36.80	375.47	38.27	374.47	56.90	373.40
35.20	282.83	33.77	282.13	51.93	281.30
26.03	232.80	28.70	232.27	54.83	231.63
26.80	201.10	38.33	200.67	44.53	200.13
20.60	179.03	24.13	178.63	44.63	178.20
25.80	162.67	29.03	162.37	48.50	161.97
22.07	144.60	27.17	144.33	41.93	144.00
22.97	127.67	23.17	127.47	44.83	127.17
21.13	115.50	24.67	115.30	44.30	115.07
22.93	106.23	24.93	106.10	44.07	105.87
21.90	95.77	25.90	95.63	44.00	95.40
21.90	84.57	25.30	84.47	41.37	84.30

18.80	74.40	29.40	74.30	43.40	74.17
15.37	62.93	22.30	62.83	37.47	62.70
19.10	52.53	26.60	52.47	36.57	52.37
17.97	42.53	22.43	42.50	39.77	42.43
18.83	32.00	23.07	31.97	39.00	31.93
20.00	24.70	25.23	24.67	39.40	24.63
20.80	20.23	23.17	20.20	39.20	20.17
19.27	16.63	23.87	16.63	37.00	16.60
19.53	13.93	22.30	13.90	37.63	13.90
17.03	11.37	22.70	11.37	39.73	11.37
19.57	9.37	22.97	9.37	35.97	9.37
19.73	8.37	23.87	8.37	37.83	8.37
17.50	7.40	22.70	7.37	35.77	7.37
16.47	6.47	21.47	6.47	36.97	6.47
20.03	5.50	21.93	5.50	33.30	5.47
18.03	4.40	19.10	4.40	34.57	4.40
19.70	3.37	19.07	3.37	33.83	3.33
17.53	2.60	20.70	2.60	34.07	2.60
17.23	2.10	21.40	2.10	34.77	2.10

**55**

**56**

**57**

72.60	583.70	51.50	595.20	34.30	590.43
70.83	371.80	31.70	378.77	34.60	376.00
72.33	280.13	25.37	285.30	27.63	283.27
63.50	230.77	24.70	234.87	24.23	233.27
65.33	199.40	25.17	202.90	30.90	201.57
58.00	177.57	22.93	180.63	29.93	179.47
57.63	161.37	22.03	164.13	31.27	163.10
58.57	143.50	17.87	145.93	25.27	145.03
57.87	126.73	14.33	128.83	22.07	128.03
52.57	114.70	20.37	116.60	23.37	115.90
48.73	105.50	18.67	107.23	22.67	106.63
54.80	95.13	20.00	96.67	22.67	96.10
52.90	84.07	17.00	85.40	21.73	84.90
51.47	73.90	15.83	75.10	21.60	74.67
51.03	62.50	17.63	63.50	22.50	63.17
52.03	52.20	15.87	53.03	23.73	52.73
47.60	42.30	17.07	42.97	23.53	42.73
49.23	31.83	15.73	32.30	22.23	32.10
48.70	24.57	15.30	24.93	19.27	24.80
44.57	20.10	15.70	20.40	21.10	20.30
47.10	16.53	13.77	16.80	22.73	16.70
46.80	13.83	16.07	14.07	19.83	14.00
46.33	11.30	14.07	11.50	20.73	11.43
46.23	9.30	15.93	9.47	21.53	9.40
44.60	8.33	13.73	8.47	23.57	8.43
45.57	7.37	13.93	7.47	22.20	7.43
44.77	6.47	14.10	6.57	21.47	6.53
42.03	5.47	12.47	5.57	16.37	5.53
45.07	4.40	14.23	4.43	19.17	4.43
43.73	3.30	15.93	3.40	20.20	3.37
42.80	2.60	14.20	2.63	16.93	2.60
39.93	2.10	13.37	2.10	18.13	2.10

**58**

**59**

**60**



62.57	590.37	66.23	587.27	99.20	578.0
57.87	376.00	65.93	374.23	91.0	366.9
52.10	283.30	62.23	282.03	67.9	276.1
53.63	233.27	57.87	232.30	47.4	227.0
51.20	201.60	59.10	200.80	40.1	195.9
41.93	179.50	57.40	178.83	27.3	174.3
41.93	163.10	56.60	162.50	28.5	158.3
42.90	145.07	51.30	144.53	27.2	140.6
44.80	128.10	52.67	127.67	22.4	124.1
40.73	115.93	49.83	115.53	17.5	112.2
40.00	106.63	49.47	106.30	37.4	103.2
37.53	96.13	46.77	95.80	18.3	93.0
37.80	84.90	47.20	84.63	14.4	82.1
38.70	74.73	48.00	74.50	16.0	72.2
39.93	63.20	46.20	63.00	17.8	61.1
36.90	52.77	45.00	52.63	16.2	51.0
36.53	42.73	44.13	42.63	13.4	41.3
35.77	32.17	43.40	32.07	19.4	31.0
36.40	24.83	44.27	24.73	11.8	23.9
34.13	20.30	43.00	20.27	14.8	19.6
34.00	16.70	42.43	16.67	14.2	16.1
34.33	14.00	43.60	13.93	17.3	13.5
32.53	11.43	42.03	11.43	18.8	11.0
33.53	9.43	40.80	9.37	15.7	9.1
36.27	8.43	39.13	8.40	17.4	8.1
34.33	7.43	39.43	7.43	14.7	7.2
33.20	6.53	39.10	6.50	14.2	6.3
33.37	5.53	40.47	5.53	16.6	5.3
31.27	4.43	39.30	4.40	14.7	4.3
33.13	3.37	38.83	3.33	16.9	3.2
27.67	2.60	36.80	2.60	17.5	2.5
30.27	2.10	36.37	2.10	19.0	2.0

**61**

94.80	590.40
63.90	375.80
58.30	283.00
34.40	233.00
40.80	201.30
38.40	179.20
36.60	162.90
21.60	144.80
30.80	127.90
10.00	115.70
15.30	106.40
24.20	95.90
14.40	84.70
16.10	74.50
14.70	63.00
21.60	52.60
15.10	42.60
13.40	32.10
15.60	24.70
19.90	20.30

**62**

72.50	562.80
68.40	358.00
73.00	269.50
68.40	221.80
68.50	191.60
62.80	170.50
64.10	154.90
74.10	137.70
57.90	121.60
65.90	110.00
65.80	101.20
64.60	91.20
57.30	80.50
61.10	70.80
70.80	59.90
68.10	50.00
73.90	40.50
67.50	30.50
66.10	23.50
67.50	19.20

12.80	16.70	65.00	15.80
11.90	13.90	60.50	13.30
13.60	11.40	58.00	10.80
16.10	9.40	56.80	8.90
12.80	8.40	57.10	8.00
13.60	7.40	52.30	7.10
16.00	6.50	51.30	6.20
13.70	5.50	48.80	5.20
12.30	4.40	45.10	4.20
16.20	3.40	34.80	3.20
11.50	2.60	25.20	2.50

---