

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIANA TRAMUJAS GUTIERREZ

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE
SEDIMENTOS: PRECISÃO

PONTAL DO SUL

2009

MARIANA TRAMUJAS GUTIERREZ

**DIFERÊNCIAS ENTRE RESULTADOS PROVENIENTES DE DIFERENTES
MÉTODOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA: PRECISÃO**

Monografia apresentada como requisito à conclusão do Curso de Oceanografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour

PONTAL DO SUL
2009

Para meus pais, Adriano e Adriane.
Por todo o amor, por quem eu sou
e por tudo que alcancei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus, pela vida, bênção e proteção.

À meus pais, por todo amor, dedicação e carinho que sempre empenharam a mim. Por acreditarem e confiarem na minha competência, sempre me apoiando nas minhas decisões e me mostrando o caminho mais sensato a seguir.

Ao Leandro, que além de ser o melhor irmão do mundo, é um grande amigo e companheiro, com o qual eu sempre poderei contar em todos os momentos da minha vida. Valeu Lê!

Ao Arthur, que acompanhou todo o meu percurso para chegar até aqui, com muito carinho e paciência. Hoje agradeço a Deus por ter lhe colocado no meu caminho, pois ele não poderia ter feito escolha melhor.

Às minhas amigas queridas, Andressa, Camila, Tatiane e Larissa, que me ensinaram o valor da verdadeira amizade. Gostaria de agradecer por todos os bons momentos que passamos juntas, por todo o companheirismo, apoio e paciência.

À Juliane e à Ghisi, que além de tornarem os dias no laboratório muito melhores, foram ótimas companhias sempre, para todos os momentos.

À Marília e ao Hugo, dupla dinâmica que sempre me deixa cor de rosa e me apóia nas coreografias.

Lizi e Magrão, por tornarem as minhas idas e vindas pela BR277 momentos de boas risadas.

Ao Ronei, Vader, Cássio e Andressa pela ajuda na coleta.

Ao Professor Marcelo Renato Lamour pela orientação, amizade, paciência e, principalmente, por acreditar no meu trabalho.

À Universidade Federal do Paraná, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense, à Marinha do Brasil e ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, e à Universidade do Vale do Itajaí, pelo processamento das amostras.

Ao Professor José Manuel Reis, à técnica Elisiane Röpper Pescini, Evelin e ao seu Antonio, do Lamir. Ao Professor Rodolfo Ângulo e ao técnico Daniel Paredes, do LABSED. À Professora Josefa Varella Guerra e à Ana Alcira Quiroga Menezes, da UERJ. À Comandante Lúcia Artusi, Comandante Isabel Peres e ao técnico Roberto Romano, do IEAPM. Ao Professor Antonio Henrique da Fontoura Klein, Professor João Thadeu de Menezes, e ao técnico Gentil Silvestre, da UNIVALLI. Ao

Professor Alberto Figueiredo e à técnica Paula Falheiro, da UFF. À Sirlei Guisi de Oliveira e a Rafaela Zem, do LABSED. E à todos que contribuíram de alguma forma para a realização das análises laboratoriais.

Ao Professor Mauricio Garcia de Camargo e ao Leonardo Sandrini Neto, pela grande ajuda com a estatística. À Fernanda pela companhia na correria dos últimos dias.

Obrigada a todos os que fizeram parte da minha vida acadêmica, que contribuíram tanto para a execução deste trabalho como para os momentos de alegria, risadas e bom papo.

RESUMO

Em vista dos crescentes problemas que ocorrem nas regiões costeiras, em sua maioria provocada pela intervenção humana no sistema natural, viu-se a necessidade de se desenvolverem técnicas que quantificassem os processos costeiros através da caracterização e distribuição granulométrica dos sedimentos. Assim, desenvolveu-se a sedimentologia, que relaciona tanto as características físico químicas de um grão quanto os processos hidrodinâmicos atrelados a ele. Por apresentar um aspecto interdisciplinar acentuado, as técnicas e métodos aplicados na sedimentologia sofreram adaptações, tornando-se genéricos. Alguns fatores tais como a preparação das amostras, o equipamento utilizado e sua calibração, as condições ambientes, podem contribuir para a variabilidade dos resultados. Com Assim, viu-se a necessidade de avaliar os efeitos dessas diferenças nos resultados obtidos a partir de uma mesma parcela de amostras. O objetivo deste trabalho foi avaliar os resultados gerados a partir de diferentes abordagens da técnica de análise granulométrica, discutindo disparidades e suas possíveis causas. Para isso foram analisadas três amostras de granulometrias distintas, em sete laboratórios que apresentam diferenças em seus procedimentos. Os resultados de análises granulométricas, de uma mesma parcela de sedimentos, através de procedimentos distintos geraram diferenças significativas em todos os parâmetros obtidos. Para o peneiramento, as diferenças nos resultados podem estar ligadas à desagregação da amostra; tipo de peneiramento, por via úmida ou seca; à quantidade de amostra utilizada; número de peneiras e o intervalo entre cada uma; tempo de peneiramento. Para a pipetagem, as principais diferenças podem estar ligadas às diferentes temperaturas da solução e à remoção de sais solúveis, responsáveis pela floculação. Já para a análise à laser, a alta concentração de amostra pode ser responsável pelas discrepâncias encontradas entre os resultados, assim como pela não realização de uma análise específica para sedimentos finos e para sedimentos grossos.

Palavras chave: Sedimentologia. Análises Granulométricas. Métodos Granulométricos.

ABSTRACT

Because the problems that occur in coastal regions, mostly caused by human intervention in the natural system, it was necessary to develop techniques to quantify the coastal processes through characterization and size distribution sediment. Thus the sedimentology was developed, which one relates both the chemical and physical characteristics of grain as the process hydrodynamic coupled to it. By presenting a very strong interdisciplinary nature, the techniques and methods used in sedimentology have been adapted and became generic. Some factors such as sample preparation, equipment used and its calibration, and environmental conditions may contribute to the variability of results. With that its necessary to identify the effects of these differences in results obtained from the same portion of samples. For that, three samples with different grain sizes were analyzed in seven laboratories that differ in their procedures. The results of size analysis of the same parcel of sediments, through different procedures have generated significant differences in all parameters obtained. For the sieving, the differences may be linked to the breakdown of the sample; tipe of sieving, wet or dry; the amount of sample; number of sieves and the interval between each one or time of sieving. For the sedimentation, the main differences may result to different temperatures of solution and the removal of soluble salts, which are responsible for flocculation. As for laser analysis, the high concentration of sample may be responsible for differences observed between results, as well as for failure to conduct a specific analysis for fine sediments and coarse sediments.

Keywords: Sedimentology. Grain size analysis. Grain size methods.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - SISTEMA DE DISPERSÃO A LASER.....	25
FIGURA 2 - PADRÃO DE DIFRAÇÃO SOB O MODELO DE AIRY	26
FIGURA 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS.....	37
FIGURA 4 - ESQUEMA AMOSTRAL	39
GRÁFICO 1 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DAS MÉDIAS EM RELAÇÃO AO PONTO 1.....	53
GRÁFICO 2 – ANÁLISE DA VARIÂNCIA DAS PORCENTAGENS DE CASCALHO EM RELAÇÃO AO PONTO 1	54
GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS VARIÂNCIAS EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ARGILAS PARA O PONTO 1.....	54
GRÁFICO 4 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DO PONTO P1A PARA TODOS OS LABORATÓRIOS.....	55
GRÁFICO 5 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS OBTIDAS PELO LABORATÓRIO II PARA TODAS AS RÉPLICAS DO PONTO P1	56
GRÁFICO 6 – ANÁLISE DAS VARIÂNCIAS DAS MÉDIAS EM RELAÇÃO AO PONTO 2.....	57
GRÁFICO 7 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DO PONTO P2A PARA TODOS OS LABORATÓRIOS.....	58
GRÁFICO 8 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS OBTIDAS PELO LABORATÓRIO II PARA TODAS AS RÉPLICAS DO PONTO P2	59
GRÁFICO 9 - FREQUÊNCIAS ACUMULADAS OBTIDAS PELO LABORATÓRIO V PARA TODAS AS RÉPLICAS DO PONTO P2	60
GRÁFICO 10 - ANÁLISE DAS VARIÂNCIAS DAS MÉDIAS EM RELAÇÃO AO PONTO 3.....	61
GRÁFICO 11 - FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DO PONTO P3A PARA TODOS OS LABORATÓRIOS.....	62

GRÁFICO 12 - FREQUÊNCIAS ACUMULADAS OBTIDAS PELO LABORATÓRIO VI PARA TODAS AS RÉPLICAS DO PONTO P3	63
GRÁFICO 13 - FREQUÊNCIAS ACUMULADAS OBTIDAS PELO LABORATÓRIO IV PARA TODAS AS RÉPLICAS DO PONTO P2	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RELAÇÃO ENTRE CLASSIFICAÇÃO VERBAL DE WENTWORTH E VALORES NUMÉRICOS DAS ESCALAS FI E MESH.....	18
TABELA 2 - FATORES DE CORREÇÃO DAS VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO PARA TEMPERATURAS DIFERENTES DE 20°C.....	22
TABELA 3 - ESCALA VERBAL DO GRAU DE SELEÇÃO DE FOLK & WARD	32
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO VERBAL QUANTO À ASSIMETRIA	34
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO VERBAL QUANTO À CURTOSE.....	35
TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA VERBAL DE WENTWORTH (1922) COM DIÂMETROS MÉDIOS DE GRÃO NA ESCALA FI E EM MM, E SUA CLASSIFICAÇÃO VERBAL.....	40
TABELA 7 - TEMPOS E PROFUNDIDADES DE COLETA PARA O LABORATÓRIO I.....	44
TABELA 8 - TEMPOS E PROFUNDIDADES DE PIPETAGEM PARA O LABORATÓRIO II	45
TABELA 9 - TEMPOS E PROFUNDIDADES DE PIPETAGEM DO LABORATÓRIO IV.....	48
TABELA 10 - TEMPOS E ALTURAS DE PIPETAGEM PARA O LABORATÓRIO V.....	49
TABELA 11 - TEMPOS E PROFUNDIDADES DE PIPETAGEM DO LABORATÓRIO VII.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivos gerais.....	15
1.1.2. Objetivos específicos.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	16
2.1.1. Escalas Granulométricas.....	16
2.1.2. Métodos Granulométricos	18
2.1.2.1. Preparação Prévia.....	19
2.1.2.2. Sedimentos Grossos	19
2.1.2.3. Sedimentos Finos.....	20
2.1.2.3.1. Lei de Stokes.....	21
2.1.2.3.2. Flocculação	23
2.1.2.3.3. Método da Pipeta	24
2.1.2.3.4. Análise a Laser.....	25
2.2. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	28
2.2.1. Medidas de Tendência Central.....	29
2.2.1.1. Média ou Diâmetro Médio	29
2.2.1.2. Moda	30
2.2.1.3. Mediana.....	30
2.2.2. Medidas de Dispersão.....	31
2.2.2.1. Grau de Seleção ou Desvio Padrão (σ).....	31
2.2.2.3. Assimetria (Sk).....	33
2.2.2.3. Curtose.....	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. TRABALHOS DE CAMPO	36
3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	38
3.3. ANÁLISE DOS DADOS.....	39
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	40
3.4. LABORATÓRIOS COLABORADORES	42
4. SUMÁRIO DAS METODOLOGIAS UTILIZADAS	43
4.1. LABORATÓRIO I	43
4.2. LABORATÓRIO II.....	44

4.3. LABORATÓRIO III	45
4.4. LABORATÓRIO IV	46
4.5. LABORATÓRIO V	48
4.6. LABORATÓRIO VI	50
4.7. LABORATÓRIO VII	50
5. RESULTADOS	53
5.1. Ponto 1	53
5.2. Ponto 2	56
5.3. Ponto 3	60
6. DISCUSSÃO	64
6.1. PONTO 1	64
6.2. PONTO 2	66
6.3. PONTO 3	69
7. CONCLUSÃO	70
BIBLIOGRAFIA	72
APÊNDICES	74

1. INTRODUÇÃO

Dados sobre processos hidrodinâmicos, principalmente em regiões costeiras, são gerados a partir de caracterizações da cobertura sedimentar e de sua mobilidade em função de parâmetros oceanográficos, meteorológicos e hidrológicos (MUEHE, 1996). Com isso, faz-se necessário conhecer o comportamento hidráulico dos grãos, de acordo com suas características tais como tamanho, densidade, forma e natureza, as quais, atreladas a outros fatores, irão determinar sua susceptibilidade à mobilização, transporte e deposição assim como a energia necessária para que esses processos ocorram (ALBINO, 1999).

Em vista dos processos de erosão e deposição na interface entre litoral e oceano, em sua maioria provocados por intervenções antrópicas no sistema natural, viu-se a necessidade de desenvolver técnicas que possibilitassem a quantificação e o estudo dos processos costeiros através da caracterização e distribuições granulométricas dos sedimentos (SUGUIO, 1973). Assim, deu-se o desenvolvimento da sedimentologia, definida por Suguio (1973) como a ciência que estuda todos os processos responsáveis pela formação das rochas sedimentares, incluindo origem, transporte e deposição dos materiais formadores das rochas, sua diagênese e litificação.

A área da sedimentologia possui um aspecto interdisciplinar acentuado, havendo necessidade de adaptações de técnicas e métodos, que por serem frequentemente modificados, tornam-se genéricos (SUGUIO, 1973). De acordo com Zem *et al.* (2005), no Brasil, as análises mais comuns para determinações das frações de sedimentos são por pipetagem e peneiramento, sendo descritos por alguns autores (COIMBRA *et al.*, 1991; GIANNINI, 1987; SUGUIO, 1973; CARVER, 1971), com pequenas variações nos métodos de execução, principalmente nas etapas de preparação das amostras.

Devido às divergências observadas entre os procedimentos de análise laboratorial, pode-se concluir que quando são aplicados à mesma amostra podem produzir dados texturais contraditórios e incoerentes. Alguns fatores tais como a preparação das amostras, o equipamento utilizado e sua calibração, as condições ambientes (temperatura, umidade, etc.), podem contribuir para a variabilidade dos resultados, revelando que o tamanho das partículas não está unicamente vinculado

ao método utilizado, mas também depende das condições ambiente e da interpretação dos resultados (FLEMMING, 2007). Além das etapas das análises, as designações utilizadas na descrição dos sedimentos de uma mesma amostra também são muitas e variadas, tendo como um dos principais problemas a ausência de definições consensuais de limites de classes texturais (DIAS, 2004), assim como os meios de obtenção dos parâmetros estatísticos.

Todas essas diferenças, mesmo que poucas podem ser responsáveis por discrepâncias entre os resultados, gerando uma dúvida sobre qual tratamento é mais ou menos adequado e/ou representativo perante a situação real. Com isso, viu-se a necessidade de avaliar essas diferenças e definir a precisão dos resultados gerados, através da análise de uma mesma parcela de material por sete laboratórios que utilizam métodos distintos.

Analisando-se os métodos utilizados no presente trabalho, pode-se verificar diferenças ligadas às etapas de tratamento do material, processamento das análises, embasamentos teóricos utilizados e tratamentos estatísticos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar os resultados gerados a partir de diferentes abordagens da técnica de análise granulométrica, as quais são aplicadas por laboratórios brasileiros, discutindo possíveis disparidades e suas causas.

1.1.2. Objetivos Específicos

Identificar possíveis disparidades entre as técnicas de análise granulométrica aplicadas por sete laboratórios brasileiros, comparando seus resultados estatisticamente e evidenciando suas possíveis causas;

Testar a precisão de cada método para a análise granulométrica em sedimentos francamente praias e estuarinos, por meio da comparação dos resultados de amostras de uma mesma população. Assim, almeja-se avaliar o desempenho dos laboratórios colaboradores, sem a intenção de efetuar reconhecimentos quanto à competência de qualquer um.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

De acordo com Suguio (1973) granulometria significa a medida do tamanho dos grãos, sendo frequentemente uma das propriedades físicas fundamentais dos sedimentos. A análise granulométrica consiste na determinação do tamanho de partículas, bem como a frequência em que ocorrem em determinada classe ou tamanho (LIMA *et al.*,2001), sendo possível deduzir informações sobre a proveniência, transporte e ambientes deposicionais (DIAS, 2004).

A caracterização quantitativa dos parâmetros físicos, principalmente do tamanho das partículas, é essencial na elaboração e um trabalho preciso, no qual várias etapas devem ser seguidas, desde a determinação de escalas até a escolha dos métodos de caracterização (FOLK, 1968). Essas dimensões podem ser obtidas através de uma gama de métodos descritos, representadas por gráficos e diagramas, e avaliadas através parâmetros estatísticos (SUGUIO, 1973).

2.1.1. Escalas Granulométricas

As escalas de distribuição de tamanhos em classes foram desenvolvidas com a intenção de atribuir nomenclaturas e terminologias através de uma base uniforme para resultados das análises granulométricas, expressando geralmente o diâmetro médio de cada partícula (GUY, 1969). Foram elaboradas escalas de dois tipos, umas que atribuem classificações verbais de acordo com valores numéricos, denominadas de escalas de classes, e outras que somente relacionam os tamanhos dos grãos de acordo com as malhas das peneiras utilizadas, para o caso de sedimentos grossos, denominadas de escalas numéricas.

A primeira escala, referente ao tamanho dos grãos, foi proposta por Johan A. Udden, em 1898, trata-se de uma escala geométrica que utiliza potências de 2mm

(DIAS, 2004). Em 1922, Chester K. Wentworth fez modificações na referida escala que passou a ser amplamente utilizada (GUY, 1969). A escala de Wentworth possui um intervalo geométrico fixo, baseados numa escala logarítmica de base 2, além de considerar as propriedades físicas dos grãos envolvidas em seu transporte para determinar os limites de suas classes (SUGUIO, 1973).

Como adaptação da escala de Wentworth, em 1934, Krumbein criou a escala Φ (fi) como uma transformação logarítmica da escala de Wentworth (Folk, 1968), com intenção de facilitar a aplicação dos métodos estatísticos convencionais à sedimentologia (GUY, 1969). A escala fi representa o logaritmo negativo na base 2 do diâmetro em milímetro, o que faz com que a escala seja inversa ao tamanho dos grãos, e é vantajosa pelo fato de representar as classes apenas por valores inteiros, facilitando sua representação e cálculo dos parâmetros estatísticos, além de possuir todos os seus intervalos eqüidistantes entre si (SUGUIO, 1973). Os valores de Φ podem ser calculados através da seguinte fórmula: $\Phi = -\log_2 d(mm)$. Geralmente adotam-se intervalos de $\frac{1}{2}$ em $\frac{1}{2}$, 1 em 1, e até mesmo de 2 em 2Φ . As relações entre as classificações verbais de Wentworth e os valores numéricos das escalas fi e $mesh$ estão retratados na TABELA 1.

TABELA 1 - Relação entre classificação verbal de Wentworth e valores numéricos das escalas ϕ e Mesh.

TAMANHO DO GRÃO			CLASSIFICAÇÃO VERBAL
$\phi(\phi) = -\log_2 d(mm)$	<i>mm</i>	<i>Mesh</i>	<i>Wentworth (1922)</i>
-	>256	2	Matacão
-8 à -7	256 à 64	2	Bloco
-6	64 à 32	2	Seixo Muito Grosso
-5	32 à 16	2	Seixo Grosso
-4	16 à 8	2	Seixo Médio
-3	8 à 4	2,5	Seixo Fino
-2	4 à 2	5	Seixo Muito Fino
-1	2 à 1	9	Areia Muito Grossa
0	1 à 0,5	16	Areia Grossa
+1	0,5 à 0,25	32	Areia Média
+2	0,25 à 0,125	60	Areia Fina
+3	0,125 à 0,062	115	Areia Muito Fina
+4	0,062 à 0,031	250	Silte Grosso
+5	0,031 à 0,016	-	Silte Médio
+6	0,016 à 0,008	-	Silte Fino
+7	0,008 à 0,004	-	Silte Muito Fino
+8	0,004 à 0,0020	-	Argila Grossa
>9	< 0,0020	-	Ultra-Argila

FONTE: Adaptado de GUY (1969) e SUGUIO (1973)

2.1.2. Métodos Granulométricos

De acordo com Suguio (1973) a maioria dos sedimentos é heterogênea em relação à sua constituição granulométrica, e já que existem diversas técnicas que se aplicam a diferentes faixas granulométricas deve-se optar por uma técnica adequada que classifique as diferentes granulometrias de maneira coerente (LIMA *et al.*, 2001). Comumente a escolha do método, para análises sedimentológicas, é separada entre sedimentos grossos, que possuem diâmetros superiores à 0,062 mm, e sedimentos finos, com diâmetros inferiores à 0,062 mm, porém esse limite pode variar de acordo com a área de aplicação. Esses métodos são descritos por diversos autores com pequenas variações principalmente na fase de tratamento prévio das amostras, o que pode resultar em diferenças nos resultados obtidos a partir de uma mesma amostra (ZEM *et al.*, 2005).

Para os sedimentos mais grossos, a técnica mais comum é o peneiramento, no qual a separação ocorre segundo o tamanho geométrico das partículas. Já os sedimentos mais finos são classificados através do método da sedimentação, que é regido pela Lei de Stokes, na qual a classificação das partículas tem como base a velocidade em que os grãos atravessam um fluido. Ambas possuem o objetivo comum que visa à separação de um material em frações com partículas de tamanhos distintos.

2.1.2.1. *Preparação Prévia*

Na grande maioria das vezes as amostras, antes de serem analisadas, devem passar por processos de tratamentos prévios, que se distinguem de acordo com o tipo de sedimento com que se trabalha no caso sedimentos inconsolidados apenas o quarteramento das amostras e secagem já são suficientes (SUGUIO, 1973). De acordo com Zem *et al.* (2005) a preparação das amostras é a fase que mais apresenta variações.

2.1.2.2. *Sedimentos Grossos*

A determinação de parâmetros estatísticos para classes mais grossas como matacões, blocos e seixos é relativamente fácil. No entanto, para sedimentos pertencentes a classes inferiores, que variam de cascalhos a areias, a quantificação dos mesmos parâmetros é dificultada (DIAS, 2004).

A peneiração talvez seja um dos métodos mais utilizados na análise dos parâmetros de cascalhos, porém para as areias a metodologia mais efetiva é discutível. Muitos pesquisadores acreditam que a sedimentação é a maneira mais correta de se avaliar a distribuição granulométrica, pois determina um parâmetro que está mais associado com o comportamento hidráulico da partícula, diferentemente do peneiramento, que mostra as quantidades de material em função das malhas utilizadas (GUY, 1969), já outros acreditam que os erros são relativamente maiores quando comparados com os resultados do peneiramento (SUGUIO, 1973).

Entende-se por peneiramento a separação de um material em uma ou mais classes de ordem decrescente, podendo ser realizado através de via seca ou via úmida. A via úmida consiste na utilização de um fluxo de água para facilitar a passagem dos sedimentos pelas malhas, sem aplicação de força externa, sendo vantajoso pelo fato de que a água lava os grãos auxiliando a desagregação. Já para o peneiramento sem a utilização de água, é importante que o material esteja bem desagregado e seco, pois a presença de umidade superficial facilita a atuação de forças adesivas.

2.1.2.3. *Sedimentos Finos*

Segundo Guy (1969) antigamente as análises granulométricas só eram aplicáveis aos sedimentos com diâmetro superior à 0,02mm (de acordo com escala de Wentworth de grãos maiores que o silte médio). As maneiras mais comuns, atualmente, de se analisar os sedimentos finos são as que envolvem medidas de tendência à sedimentação de partículas. Para isso, várias leis, assim como expressões matemáticas, foram desenvolvidas para quantificar a relação entre o tamanho da partícula e a velocidade de decantação. Essas leis, principalmente a de Stokes, são utilizadas como base de técnicas de separação de partículas pertencentes às classes das argilas e siltes (de acordo com a classificação de Wentworth, diâmetros < 0,062mm).

Quando uma partícula cai livremente em por meio fluído (líquido ou gasoso) ela está sujeita à ação de uma força gravitacional agindo a favor do seu movimento e a uma força de resistência resultante do deslocamento de massa do fluído. A força de resistência à queda é diretamente proporcional à densidade do fluído, e quando a decantação ocorre em um meio laminar, diretamente associado à decantação de partículas com raio inferior à 50 μ m, esta força é expressa pela Lei de Stokes (1851). Caso o meio seja turbulento a força é regida pela Lei do Impacto de Newton (1687), mais comumente aplicada a partículas maiores. Já a resistência do fluído está ligada à velocidade da queda, sendo que para as maiores velocidades verifica-se uma perturbação do fluído e, conseqüentemente, uma resultante de maior intensidade (CETEM, 1996).

2.1.2.3.1. *Lei de Stokes*

O movimento de uma partícula em um meio fluido (líquido ou gasoso) fica sob ação de uma força de resistência ao movimento, ocasionada pela viscosidade do fluido e por aspectos morfológicos da partícula, além da força gravitacional. Quando as duas forças atuantes se equilibram, a partícula passa a se movimentar a uma velocidade constante. A razão entre as forças inerciais e viscosas de um fluido é calculada através do número de Reynolds (Re), e conhecido como coeficiente de arraste (LIMA *et al.*, 2001)

A Lei de Stokes, desenvolvida em 1851, permite calcular a velocidade de decantação de uma partícula em meio laminar a partir de seu diâmetro médio, através da seguinte fórmula:

$$v = \frac{2}{9} \cdot g \cdot \frac{(d_1 - d_2)}{\eta} \cdot r^2 \quad (1)$$

onde:

v = velocidade de decantação da partícula, expressa em cm/s

g = aceleração da gravidade (980 cm/s)

d_1 = densidade da partícula em queda (g/cm³)

d_2 = densidade do fluido de sedimentação (g/cm³)

η = viscosidade do fluido (g/cm.s)

r = raio da partícula (cm).

Existem algumas condições para que a Lei de Stokes possa ser aplicada. Primeiramente considera-se que as partículas possuem tamanho suficiente para superar o movimento Browniano, ou que são grandes o bastante para que o fluido seja considerado homogêneo em relação ao tamanho de seus grãos componentes. Em segundo lugar que as partículas são homogêneas e rígidas, aproximando-se de um formato esférico, e por último considera que as partículas estejam sedimentando com velocidade uniforme em um fluido de extensão infinita cuja única força de resistência que atua é a gerada pela viscosidade do fluido (GUY, 1969). Assim, os valores obtidos com equações teóricas não são observados com frequência na prática já que a lei pressupõe a queda de partículas sólidas, esféricas e

homogêneas, em um fluido estático e também homogêneo, de dimensões infinitas e livre de qualquer interferência (DIAS, 2004). Ainda vale ressaltar que a temperatura tem influência na velocidade de decantação das partículas, devendo ser consideradas no cálculo das velocidades caso as temperaturas sejam diferentes de 20°C, através da aplicação de fatores de correção, baseados na viscosidade dos fluidos (TABELA 2).

TABELA 2 - Fatores de correção das velocidades de sedimentação para temperaturas diferentes de 20°C

Temperatura (°C)	Fator de Correção ($\mu T/\mu 20^\circ$)	Temperatura (°C)	Fator de Correção ($\mu T/\mu 20^\circ$)
18	1,051	29	0,811
19	1,027	30	0,794
20	1,000	31	0,776
21	0,976	32	0,760
22	0,953	33	0,746
23	0,930	34	0,729
24	0,908	35	0,714
25	0,887	36	0,700
26	0,867	38	0,673
27	0,848	40	0,648
28	0,829		

FONTE: Adaptado de GUY (1969)

A relação entre as partículas reais e as consideradas por Stokes é feita da seguinte maneira: diâmetro nominal de uma partícula é o diâmetro de uma esfera com o mesmo volume; o diâmetro de decantação de uma partícula é o diâmetro de uma esfera de gravitação específica de 2,65 e que possui a mesma velocidade de decantação; o diâmetro de sedimentação de uma partícula é o diâmetro de uma esfera que possui a mesma gravidade específica e mesma velocidade de decantação. A distribuição do diâmetro de queda de uma amostra pode ser descrita como a distribuição determinada pela queda individual de cada partícula e pela soma de cada uma delas. Esta distribuição é baseada no peso e no diâmetro de queda, acreditando ser essa a maneira mais eficaz de se avaliar a sedimentação (GUY, 1969).

De acordo com Dias (2004), os limites aceitos para a Lei de Stokes são motivo de controvérsia, já que alguns autores utilizam como limite superior o diâmetro de $2,7\Phi$ ($153,9\mu$), e outros consideram apenas diâmetros inferiores à $5,3\Phi$

(25 μ). Para partículas maiores, a resistência que o fluido exerce devido à sua viscosidade é tão pequena que pode ser desprezada, dessa forma a queda da partícula obedecerá a Lei do Impacto, proposta por Isaac Newton em 1687.

Entre os métodos de sedimentação que são baseados na Lei de Stokes, pode-se verificar a existência de métodos diretos e indiretos de separação, sendo que os últimos são, de acordo com Suguio (1973), os mais aplicáveis e precisos, em especial aos métodos da pipeta e análises por difração a laser.

2.1.2.3.2. *Floculação*

A floculação é um processo comum nos sedimentos com altos teores de argila e silte e nada mais é que uma agregação das partículas, que pode ser ocasionada por íons solúveis de cargas elétricas opostas, o que explica a necessidade de desagregação antes de se proceder a análise. É normal que um grupo de partículas crie uma região de alta concentração, onde as densidades são superiores à densidade de decantação, alcançando velocidades maiores, subentendendo diâmetros maiores do que os reais (GUY, 1969).

Flocos de argila, mesmo quando misturados à água destilada, possuem comumente cargas elétricas (cátions e íons). Existe um potencial crítico das cargas que determina se ocorrerá a formação o agregado ou não. Quando as cargas de uma partícula estão acima deste potencial, as partículas se repelem e não é observada a floculação, já no caso de as cargas encontrarem-se abaixo desse potencial há aderência entre as partículas. Geralmente na análise de sedimentos finos é utilizada a água destilada, pois a água mineral contém pequenas quantidades de íons livres que podem facilitar a agregação (FOLK, 1968).

O potencial das cargas pode ser alterado com a adição de substâncias dispersantes, que possuem efeito tamponador capaz de estabilizar o pH, desde que seja aplicado em quantidades ideais, caso contrário pode facilitar o processo de floculação (SUGUIO, 1973). Dentro das substâncias mais utilizadas que evitam a floculação estão o Oxalato de Sódio ($C_2O_4Na_2$), Pirofosfato de Sódio ($Na_4P_2O_7$), Hexametáfosfato de Sódio ($Na_{16}P_{14}O_{43}$) conhecido também como Calgon. É importante que a quantidade de dispersante utilizada seja exatamente conhecida, pois representa um fator muito importante na computação dos resultados, já que

conta no peso final obtido. A solução deverá ser bem agitada para que o dispersante seja dissolvido e misturado eficientemente (FOLK, 1968).

2.1.2.3.3. *Método da Pipeta*

O método da pipeta consiste em um sistema disperso, ou seja, aquele no qual as partículas começam a assentar a partir de uma dispersão inicial uniforme, onde grãos com diâmetros de sedimentação equivalentes decantam juntas (GUY, 1969). As quantidades de material em cada classe granulométrica são obtidas a partir das mudanças nas concentrações de material em suspensão (SUGUIO, 1973). Em um dado instante, as partículas de mesmo tamanho começam a parar em certa profundidade do tubo, seguindo a lógica de que são mais finas do que as que decantaram antes e mais grossas do que as que ainda se encontram em suspensão (GUY, 1969).

O método descrito baseia-se na medida do tempo de queda de uma partícula em uma coluna de água, lembrando-se que a velocidade é constante. No instante em que a amostra é introduzida no tubo de sedimentação, a velocidade é $v = 0$, em seguida inicia-se um movimento acelerado, até que a velocidade se torne constante. Weysenhoff (1920) estudou a profundidade necessária para que uma partícula atinja a velocidade constante (DIAS, 2004).

Devido às diferenças de viscosidades, as partículas possuem diferentes velocidades num corpo aquoso de acordo com as mudanças em sua temperatura. No entanto, como os efeitos da temperatura não são lineares, as partículas com maiores velocidades de decantação são mais afetadas do que aquelas com baixa velocidade (FLEMMING, 2000). Dessa forma, vale ressaltar que os tempos ou as profundidades em que é realizada a coleta do material deverão ser adaptados de acordo com a temperatura, com auxílio do fator de correção já mencionado anteriormente. Caso seja observada na amostra classes de granulometria mais grossas, que não obedecem à Lei de Stokes deverá ser realizado um estudo casado que caiba à análise de todas as classes presentes.

2.1.2.3.4. Análise a Laser

Equipamentos mais modernos possibilitam a determinação do tamanho de partículas através da conjugação da velocidade terminal de sedimentação da partícula e à absorção dos raios X pela suspensão em análise (LIMA *et al.*, 2001).

Durante a incidência do laser, as partículas passam por um feixe focalizado, e dispersam a luz a um ângulo que é inversamente proporcional a seu tamanho. A posição angular da intensidade da luz espalhada é então medida por uma série de detectores fotossensíveis, caracterizando um sistema de dispersão (FIGURA 1). O mapa de espalhamento intensidade versus ângulo é o principal fonte de informação utilizada para calcular o tamanho de partícula. A dispersão das partículas é baseada no Modelo de Dispersão de Mie, e seu tamanho é estipulado de acordo com a teoria de Fraunhofer (MALVERN, 2009).

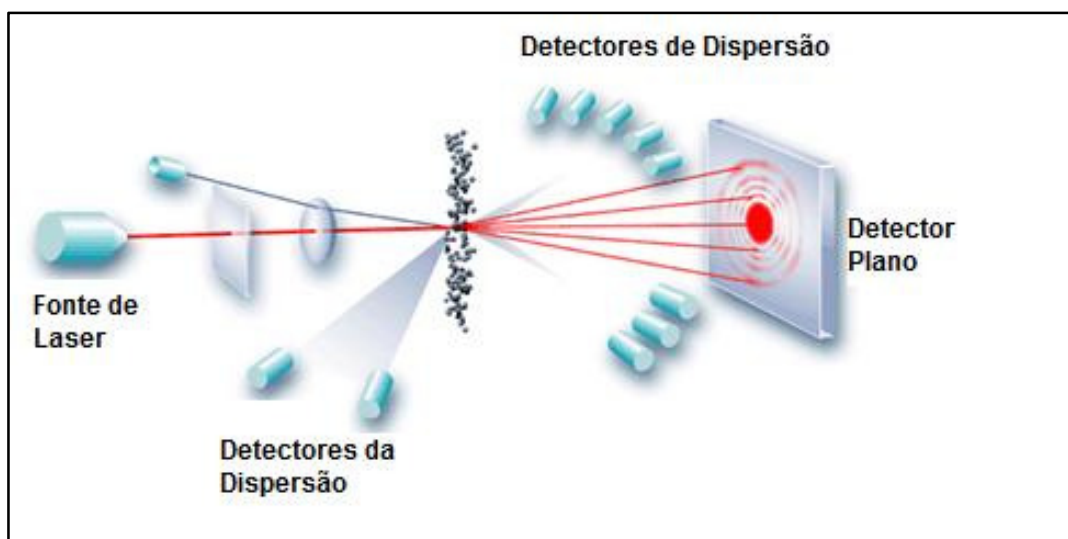


FIGURA 1 - Sistema de Dispersão a laser

FONTE: Adaptado de MALVERN, 2009

Quando uma partícula é iluminada por uma fonte monocromática (fonte de laser) um padrão de difração, conhecido como modelo de Airy, é composto no infinito (FIGURA 2). Esse padrão de difração mede a intensidade de espalhamento da luz em função do ângulo de difração α . O modelo é composto por anéis concêntricos, cujas distâncias entre um e outro dependem dos diferentes tamanhos

dos grãos. Os dados referentes aos padrões de difração mostram que quanto maior a partícula, menor será a distribuição de luz, e vice e versa (CILAS, 20__).

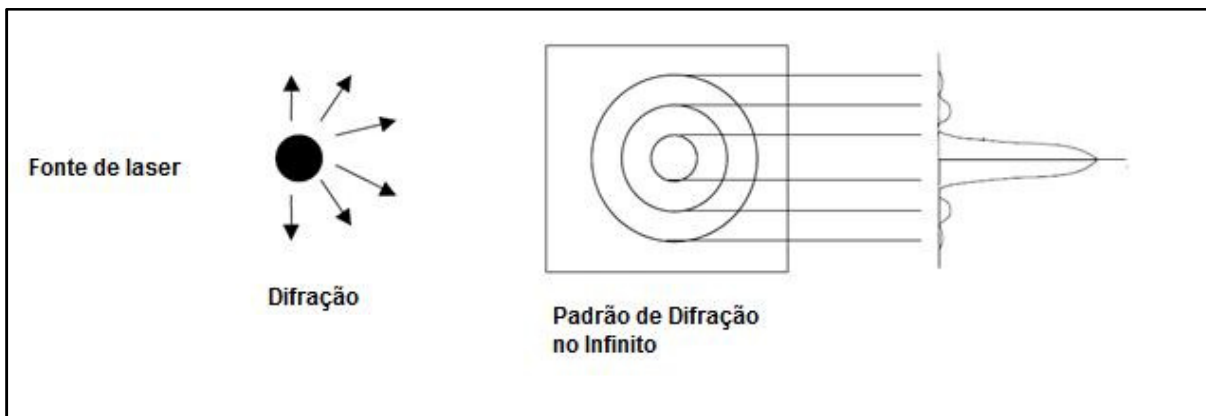


FIGURA 2 - Padrão de Difração sob o modelo de Airy

FONTE: Adaptado de MALVERN, 2009

Para determinar o tamanho da partícula através do padrão de dispersão é preciso usar a teoria de Fraunhofer, que só funciona desde que os seguintes critérios sejam satisfeitos: as partículas são esféricas e não porosas; o diâmetro da partícula deve ser pelo menos 3 a 5 vezes maior que o comprimento de onda do laser; a distância entre duas partículas deverá ser de 3 a 5 vezes maior que seu diâmetro; as partículas deverão estar desagregadas. Cada partícula gera seu próprio padrão de difração (difração elemental), e o padrão de difração de uma amostra com várias classes de tamanho é dado pela soma entre as difrações elementares de cada partícula. A intensidade total em função do ângulo é calculada da seguinte maneira:

$$I(\alpha) = \sum_{j=1}^n p_j I_j^v(\alpha) \quad (2)$$

onde:

p_j = número de partículas com diâmetro D_j

$I_j^v(\alpha)$ = intensidade difratada, por unidade de volume, por uma partícula de diâmetro d_j no ângulo α

n = número de classes de diâmetros

j = índice de classes de diâmetros.

Para partículas de mesmo diâmetro, a intensidade de difração é dada pela seguinte fórmula:

$$I_j(\alpha) = A_j(d_j)v_j \left[\frac{J_1(kd_j \text{ sen } \alpha)}{kd_j \text{ sen } \alpha} \right] \quad (3)$$

onde:

α = ângulo de difração

J_1 = função de Bessel com ordem 1

$k = 2\pi/\lambda$; $A_j(d_j)$ = constante de proporção

v_j = volume das partículas N_j

N_j = número de partículas com diâmetro D_j

d_j = classes j de diâmetros.

Partículas com diâmetros diferentes de d_j possuem sua intensidade calculada da seguinte maneira:

$$I(\alpha) = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{v_j}{V} I_j^v(\alpha) \quad (4)$$

onde:

j = tamanho de classes

V = volume total da amostra

v_j = volume das partículas de diâmetro j

$I_j^v(\alpha)$ = intensidade difratada, por unidade de volume, por uma partícula de diâmetro d_j no ângulo α .

A distribuição dos tamanhos das classes encontradas é dada por:

$$\sum_{j=1}^{j=n} p_j I_j^v(\alpha) \quad (5)$$

onde:

$$p_j = \frac{v_j}{V}$$

Esse método é preciso e confiável apenas para partículas pequenas (0,04 μm a 500 μm), e para se melhorar a amplitude do analisador é possível fazer alguns ajustes tais como aumentar a distância focal, no entanto a análise das

partículas finas também será comprometida. Portanto o mais indicado para uma análise precisa de uma amostra que contenha tanto partículas finas quanto grossas é a realização de ensaios casados, onde as partículas grossas podem ser avaliadas através de métodos específicos, já descritos anteriormente.

Antes de se iniciar o estudo realiza-se a análise de um ou mais padrões e, em seguida, o material é disperso em uma unidade de dispersão fluída, comumente água destilada ou gás. Sempre que as concentrações das partículas são suficientemente baixas, a turvação é linear com a concentração. No entanto, nas concentrações mais elevadas as partículas são tão próximas entre si que podem ocasionar um re-espalhamento do laser, mascarando os dados. Porém este erro não é ocasionado pelo equipamento, já que o usuário tem controle sobre a concentração da amostra utilizada (MALVERN, 2009).

2.2. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Um dos tópicos mais discutidos na geologia quantitativa diz respeito aos conceitos de classificação dos sedimentos de acordo com o tamanho de seus grãos componentes (tamanho X classificação). Essa ligação é feita através de parâmetros estatísticos (principalmente da curtose e assimetria), que são variáveis de acordo com as diferenças do tamanho do grão, diferentes tipos de análises granulométricas (FLEMMING, 2007) e da distância da área fonte, já que podem ser observadas menor seleção e assimetria mais negativa quanto menor for a distância (ALBINO, 1999).

Com a intenção de se comparar o ambiente de sedimentação é necessário se adotar medidas precisas de granulometria como tamanho médio, seleção, e outras propriedades de distribuição das frequências. Essas propriedades podem ser determinadas matematicamente pelo método dos momentos ou graficamente através da leitura de percentis na curva acumulativa (ambos os métodos desenvolvidos por Krumbein & Pettijohn em 1938). O método gráfico, além de ser mais rápido é mais preciso (FOLK & WARD, 1957).

As curvas de distribuição anormal geram uma análise imprecisa desses parâmetros mencionados anteriormente, já que são apenas baseados em dois ou três pontos da curva, dessa forma estas distribuições exigem mais detalhes para o

alcance de resultados mais precisos. Com isso em 1957, Folk & Ward adaptaram as medidas estatísticas propostas por Inman em 1952, considerando um maior número de pontos da curva. Para curvas normais, os parâmetros encontrados através dos dois modelos são muito semelhantes, no entanto para curvas bimodais e assimétricas o segundo sistema proposto é mais eficiente (FOLK & WARD, 1957).

2.2.1. Medidas de Tendência Central

São provavelmente os parâmetros estatísticos mais importantes, caracterizando, geralmente, a classe granulométrica mais frequente. São representadas pela média, moda e mediana.

2.2.1.1. Média ou Diâmetro Médio

A média representa o tamanho do grão no valor correspondente a 50% da distribuição gráfica das frequências acumuladas, separando a amostra analisada em duas parcelas de pesos equivalentes. Se a curva apresentar uma distribuição igual (simétrica), a mediana e o diâmetro médio possuem valores semelhantes, caso contrário os valores serão diferentes (SUGUIO, 1973).

Inman em 1952 define o diâmetro médio como:

$$M\Phi = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84}}{2} \quad (6)$$

De acordo com Folk & Ward (1957) esse cálculo responde muito bem às análises de curvas com distribuição normal, no entanto falha na análise de curvas bimodais e assimétricas. Então propuseram o seguinte cálculo:

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (7)$$

No qual Φ_{16} representa a média mais razoável para o terço com maior frequência de sedimentos grossos, Φ_{84} representa o terço mais representativo dos finos e o Φ_{50} fornece a média entre os outros dois. De acordo com Suguio (1973), este cálculo é

mais preciso na obtenção dos valores quando comparado com o método dos momentos.

O diâmetro médio é o mais importante dentro das medidas de tendência central, refletindo a média geral de tamanho dos sedimentos, que é afetada pela fonte do material, pelo processo de deposição e pela velocidade das correntes (SUGUIO, 1973).

2.2.1.2. *Moda*

Não existem fórmulas matemáticas capazes de determinar precisamente a moda. A melhor aproximação é, provavelmente, dada por Croxton & Cowden (1939), porém só é eficiente quando a distribuição é simétrica na região adjacente a moda e falha nas curvas assimétricas (FOLK & WARD, 1957). A moda consiste na granulometria mais freqüente, podendo ser expressa por um ou mais valores, onde a mais abundante é chamada de moda primária e as outras são subordinadas (SUGUIO, 1973). Na curva cumulativa, é representada pelo ponto de inflexão, que corresponde ao ponto máximo (FOLK, 1968).

Folk & Ward (1957), sugerem que ela possa ser estimada por tentativa e erro, localizando-se o ponto em que o peso seja máximo, num intervalo de classe de $0,5\Phi$. É de extrema importância nos estudos de formação do sedimento e de seu transporte, especialmente quando existe contribuição de mais de uma fonte (FOLK, 1968). Não é muito utilizada por ser independente do restante da distribuição, sendo o diâmetro médio e a mediana os parâmetros de tendência central mais comuns (SUGUIO, 1973).

2.2.1.3. *Mediana*

A mediana situa-se no valor que divide a distribuição em duas áreas iguais, não considerando as distribuições dos dois lados estipulados pelo diâmetro médio

(SUGUIO, 1973). Folk & Ward sugerem que, por ser um valor muito variável, pode ser descartada como medida de granulometria já que se baseia em apenas um ponto da curva de acumulo (50%), ocasionando pequena deficiência em alguns casos de distribuição, como as bimodais. Sendo mais favorável a utilização do diâmetro médio para expressar a medida da granulometria do sedimento.

2.2.2. Medidas de Dispersão

Referem-se às medidas da dispersão dos dados em torno das medidas centrais. Sob o ponto de vista geológico é muito expressivo da natureza dos depósitos assim como as variações do agente deposicional (SUGUIO, 1973).

2.2.2.1. Grau de Seleção ou Desvio Padrão (σ)

Pode ser usado como medida de dispersão, e representa que, em uma curva normal, 2/3 de uma amostra encontra-se dentro dos valores calculados. Inman (1952), Krumbein (1938) e Otto (1939) seguem o mesmo raciocínio, e sugerem que o desvio padrão seja através dos percentis Φ_{84} e Φ_{16} , sendo calculado da seguinte maneira:

$$\sigma_{\Phi} = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{2} \quad (8)$$

Utilizando então uma medida uniforme e similar às obtidas pelos estatísticos. Para muitas curvas de distribuição normal, este calculo, apesar de eficiente, é baseado apenas na parte central da distribuição e ignora um terço da amostra (FOLK & WARD, 1957; SUGUIO, 1973). Para isso, fez-se necessário incluir mais medidas da curva de distribuição, porém Inman (1952) mostrou que os dados são raramente confiáveis entre os percentis de Φ_1 e Φ_{99} . Com isso, Folk & Ward (1957) propuseram a utilização dos percentis de Φ_5 e Φ_{95} , assim apenas um desvio de 3,3 é incluído, sendo o cálculo baseado apenas nos extremos:

$$\sigma_{\Phi} = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{3.3} \quad (9)$$

No entanto, nem os percentis $\Phi_{84} - \Phi_{16}$ e nem o $\Phi_{95} - \Phi_5$ são adequados se não combinados à análise de sedimentos bimodais, então é importante se fazer uma composição entre os dois intervalos (FOLK & WARD, 1957):

$$\sigma_1 = \frac{84\Phi - 16\Phi}{4} - \frac{95\Phi - 5\Phi}{6,6} \quad (10)$$

De acordo com os estudos desenvolvidos por Folk & Ward (1957), σ_1 possui precisão maior do que o σ_{Φ} .

Quanto a seleção, Folk & Ward propuseram uma escala geométrica verbal (TABELA 3), de razão 2, com exceção do menor intervalo.

TABELA 3 - Escala verbal do grau de seleção de Folk & Ward

Valores de σ_1	Classificação Verbal
$\sigma_1 < 0,35$	Muito Bem Selecionado
$0,35 < \sigma_1 < 0,50$	Bem Selecionado
$0,50 < \sigma_1 < 1,00$	Moderadamente Selecionado
$1,00 < \sigma_1 < 2,00$	Pobremente Selecionado
$2,00 < \sigma_1 < 4,00$	Muito Pobremente Selecionado
$\sigma_1 > 4,00$	Extremamente Mal Selecionado

FONTE: Adaptado Folk & Ward, 1957

No entanto, qualquer tentativa de se aplicar essa classificação verbal é inútil, já que, como mostrado por Inman (1949) e Griffiths (1951) (*apud* FOLK & WARD, 1957), a seleção é controlada fortemente pela forma da curva, ou seja, pela granulometria da distribuição. Uma escala verbal significativa poderá ser aplicada apenas quando a taxa entre a seleção e o tamanho estiver funcionando de forma linear para a grande maioria dos sistemas.

A freqüente analogia de que a seleção aumenta com o transporte, em algumas amostras, está unicamente ligada ao fato de que as granulometrias de um sedimento mudam de acordo com as características do transporte. A melhora da seleção depende apenas da diminuição do tamanho e não da distância (FOLK & WARD, 1957).

Folk, em 1966 (*apud* SUGUIO, 1973), avaliou as eficiências dos vários métodos gráficos propostos para o cálculo da seleção, e concluiu que a eficiência aumenta com o maior detalhamento das características das caudas da distribuição, ou seja, quanto maior o número de percentis considerados.

2.2.2.3. Assimetria (Sk)

De acordo com Suguio (1973) a assimetria é indicada pelo afastamento do diâmetro médio da mediana. Ou seja, quanto maior a diferença entre os dois valores, mais assimétrica será a distribuição, caso os dois coincidam, a distribuição é considerada simétrica.

Inmann (1949) sugeriu dois cálculos para a assimetria. O primeiro para determinar a assimetria da região central da distribuição:

$$\alpha_{\phi} = \frac{84\phi + 16\phi - 2,5\phi}{84\phi - 16\phi} \quad (11)$$

E um segundo para determinar a assimetria dos extremos.

$$\alpha_{2\phi} = \frac{95\phi + 5\phi - 2,5\phi}{84\phi - 16\phi} \quad (12)$$

Novamente a maneira eficaz de se obter a assimetria de uma amostra é através da união desses dois valores, assim, Folk & Ward (1957) adaptaram as fórmulas para a seguinte:

$$Sk_I = \frac{16\phi + 84\phi - 2,5\phi}{2(84\phi - 16\phi)} + \frac{5\phi + 95\phi - 2,5\phi}{2(95\phi - 5\phi)} \quad (13)$$

Através desta fórmula, a assimetria passa a ser geometricamente independente da seleção. Curvas perfeitamente simétricas possuem Sk_I entre +1,00 e -1,00, ou seja, média e mediana coincidentes. Os valores positivos indicam que há presença de finos, e valores negativos indicam a presença de cascalho, o que pode ser verificado

quando a média é menor que a mediana. A classificação verbal atribuída aos resultados é a descrita na TABELA 4.

TABELA 4 - Classificação verbal quanto à assimetria

Valores de Sk_L	Classificação Verbal
$-1,00 < Sk_L < 0,3$	Assimetria Muito Negativa
$-0,3 < Sk_L < -0,10$	Assimetria Negativa
$-0,10 < Sk_L < +0,10$	Aproximadamente Simétrica
$+0,10 < Sk_L < +0,3$	Assimetria Positiva
$+0,3 < Sk_L < 0,100$	Assimetria Muito Positiva

FONTE: Adaptado de Folk & Ward (1957)

2.2.2.3. Curtose

É considerada por muitos sedimentologistas como a comparação entre as taxas de seleção dos extremos da distribuição com as taxas de seleção do centro da distribuição, podendo ser referido ainda como uma avaliação da normalidade da distribuição ou grau de agudez os picos (FOLK & WARD, 1957).

Inman (1949) define a curtose através da fórmula:

$$\beta\Phi = \frac{\frac{1}{2}(\Phi_{16}-\Phi_5) - \frac{1}{2}(\Phi_{95}-\Phi_{84})}{\sigma\Phi} \quad (14)$$

Indicando a razão do espalhamento médio das caudas da distribuição em relação ao desvio padrão, onde o valor de $\beta\Phi$ para uma distribuição normal é 0,65 (SUGUIO, 1973).

A curtose gráfica (K_g), foi sugerida por Folk & Ward (1957) e é dada por:

$$K_g = \frac{\Phi_{95}-\Phi_5}{2,44(\Phi_{75}-\Phi_{25})} \quad (15)$$

Numa curva Gaussiana normal, os intervalos das unidades de phi entre os percentis 95% e 5% podem ser 2,44 vezes maiores que os que estão entre os percentis 75% e 25%. Dessa forma, as curvas normais apresentam $K_g = 1,00$, curvas leptocurticas $K_g = 2,00$ (ou bem acentuada – melhor seleção no centro que nas extremidades), se

$K_g = 0,70$ a curva é platicurtica (ou pouco acentuada). Quanto às classificações verbais, os limites são utilizados estão representados na TABELA 5.

TABELA 5 - Classificação Verbal quanto à Curtose

Valores de K_g	Classificações Verbais
$K_g < 0,67$	Muito Platicurtica
$0,67 < K_g < 0,90$	Platicurtica
$0,90 < K_g < 1,11$	Mesocurtica
$1,11 < K_g < 1,50$	Leptocurtica
$1,50 < K_g < 3,00$	Muito Leptocurtica
$K_g > 3,00$	Extremamente Leptocurtica

FONTE: Adaptado de Folk & Ward (1957)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. TRABALHOS DE CAMPO

As amostras foram coletadas em setembro de 2008 em três pontos distintos do Complexo Estuarino de Paranaguá – CEP, com base nos mapas de parâmetros texturais de Lamour *et al.* (2004). A escolha foi feita com a intenção de se abranger três diferentes naturezas granulométricas (praias, zona de mistura estuarina e estuarina), de forma que tanto as técnicas para sedimentos grossos quanto técnicas para sedimentos finos pudessem ser avaliadas.

Com isso, foram determinados como pontos a Praia do Balneário de Pontal do Sul (P1), o Canal da Cotinga (P2), e a Baía de Antonina (P3) (FIGURA 8), caracterizando-se por possuírem sedimentos de consistência arenosa, mista e lamosa, respectivamente.

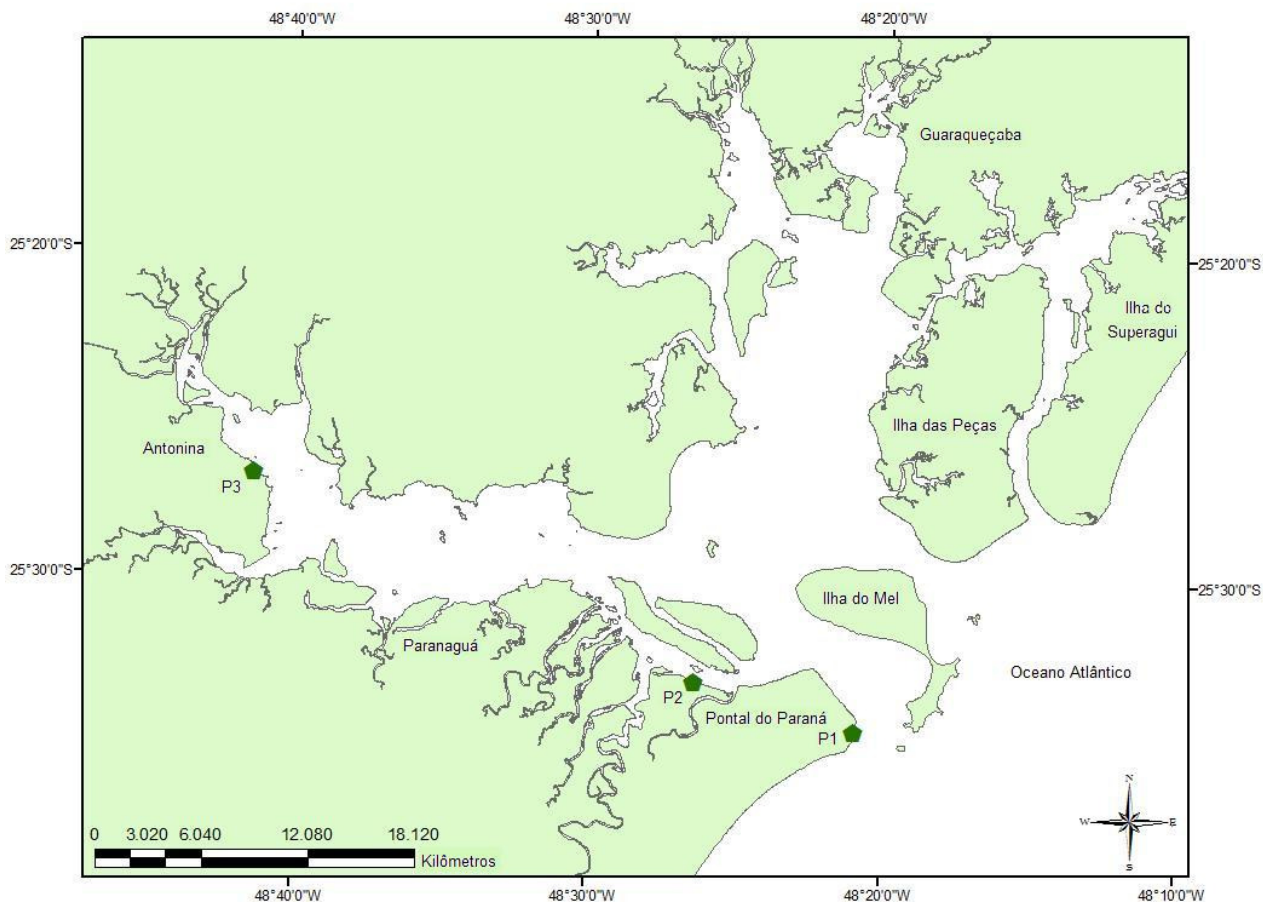


FIGURA 3 - Mapa de Localização dos pontos amostrais
 FONTE: O Autor (2009)

As coletas foram realizadas no período de quadratura, sendo que as amostras foram obtidas em regiões com ausência de lâmina de água, com o intuito de se manter a homogeneidade. A única exceção foi do ponto P3, onde esta era de aproximadamente 0,5m, o que não impediu que fosse respeitada a uniformidade.

Os pontos amostrais, baseados nos mapas de parâmetros texturais de Lamour *et al.* (2004), foram localizados por meio do Sistema de Posicionamento Global (GPS), sendo as coordenadas referenciadas no *datum* horizontal WGS-84.

Foi coletado aproximadamente 8 kg de amostra em cada um dos três pontos, com auxílio de uma pá. Cada amostra foi armazenada em um recipiente de 40 litros para que fossem transportadas até o laboratório.

3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Em laboratório, as amostras foram homogeneizadas manualmente dentro dos mesmos recipientes em que foram armazenadas na coleta, e quarteadas também manualmente. As partes separadas foram armazenadas em sacos plásticos lacrados, e estocadas em caixas de papelão até que fossem enviadas aos cada parte foi destinada aos sete laboratórios colaboradores. Sendo assim, cada laboratório recebeu um total de 15 amostras provenientes de três pontos distintos.

A produção de matéria orgânica nos sedimentos só é estagnada quando estes são congelados, no entanto como a quantidade de amostras era muito grande não havia congeladores suficientes para estocá-las até que fossem enviadas aos laboratórios colaboradores. Por isso, os teores de matéria orgânica não serão considerados. Quanto aos teores de carbonatos, como nem todos os laboratórios realizaram a avaliação, também não foram considerados.

As amostras de cada ponto foram divididas igualmente em cinco partes e denominadas: A, B, C, D, E (FIGURA 9), caracterizando réplicas, as quais possibilitaram a avaliação das diferenças dos resultados gerados por um mesmo laboratório. Uma parcela de cada parte foi destinada aos sete laboratórios colaboradores. Sendo assim, cada laboratório recebeu um total de 15 amostras provenientes de três pontos distintos.

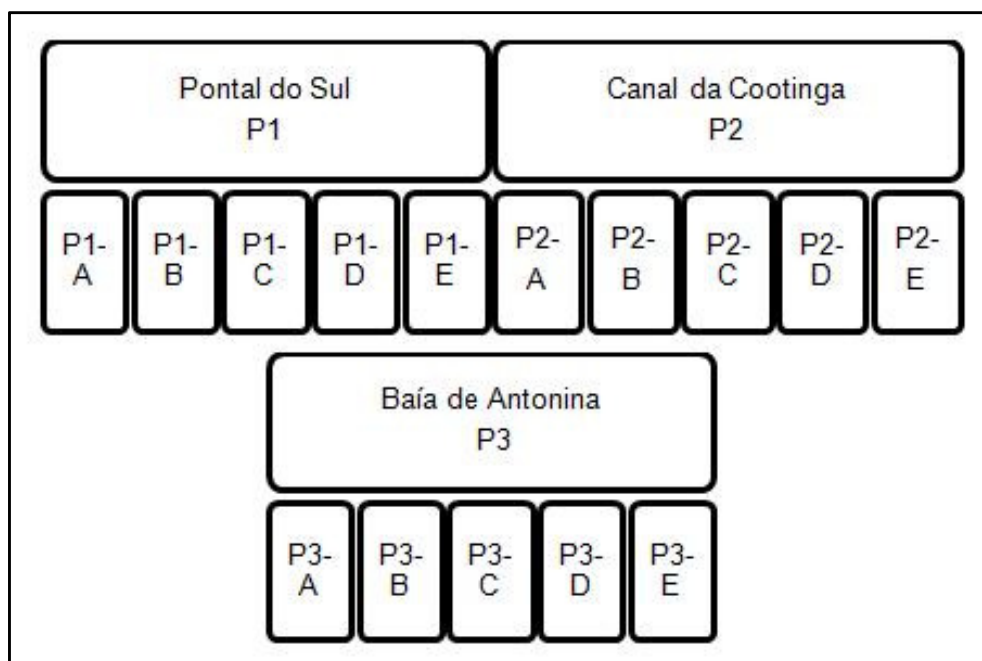


FIGURA 4 - Esquema amostral
 FONTE: O Autor (2009)

As amostras foram enviadas aos laboratórios sem que qualquer tratamento prévio fosse realizado, de forma a respeitar todos os passos executados em cada laboratório colaborador. As distribuições de frequências de tamanhos contidos no presente trabalho foram obtidas através dos métodos próprios aplicados em cada laboratório. Apenas os laboratórios III e VI realizaram a análise granulométrica através da dispersão a laser.

Como forma de proteção da identidade dos laboratórios, um número aleatório foi dado a cada um, o qual é de único conhecimento de cada participante, a fim de manter confidencialidade quanto aos resultados.

3.3. ANÁLISE DOS DADOS

Tanto as classes das peneiras do peneiramento, quanto as classes do granulômetro a laser foram utilizadas em unidades de phi (Φ), sendo realizada a conversão quando necessária, através das medidas do diâmetro das malhas. Esta conversão foi aplicada apenas ao Laboratório III, o qual apresentou suas classes em unidades de Tyler. Os limites dimensionais de classes texturais utilizados para interpretação dos resultados foram os propostos por Wentworth (1922) (TABELA 6).

TABELA 6 - Classificação granulométrica verbal de Wentworth (1922) com diâmetros médios de grão na escala ϕ e em mm, e sua classificação verbal

TAMANHO DO GRÃO		CLASSIFICAÇÃO VERBAL
$\phi(\phi) = -\log_2 d(\text{mm})$	mm/ μm	Wentworth (1922)
-11 à -8	1024 a 257	Matacão
-8 à -6	256 a 65	Bloco
-6 à -2	64 a 5	Seixo
-2 à -1	4 a 3	Granulo
-1 a 0	2 a 1	Areia Muito Grossa
0 a 1	500 μm a 1 mm	Areia Grossa
1 a 2	250 a 500	Areia Média
2 a 3	125 a 250	Areia Fina
3 a 4	63 a 125	Areia Muito Fina
4 a 5	31 a 63	Silte Grosso
5 a 6	16 a 31	Silte Médio
6 a 7	8 a 16	Silte Fino
7 a 8	4 a 8	Silte Muito Fino
8 a 9	2 a 4	Argila Grossa
>9	<2	Ultra-Argila

FONTE: Adaptado de SUGUIO (1973)

Os parâmetros estatísticos de todas as análises foram gerados através do *software* SysGran 3.0. Para isso foram escolhidos os parâmetros de Folk & Ward (1967), obtendo estatísticas dos sedimentos (média, mediana, seleção, assimetria, curtose) e frações granulométricas (percentual de argila, silte, areia e cascalho). Estes parâmetros foram gerados a partir dos dados de peso retido em cada classe granulométrica obtidos por cada laboratório colaborador.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A avaliação dos resultados foi realizada através de testes estatísticos obtidos pelo *software* R 2.9.2, utilizando como dados os parâmetros gerados pelo SysGran, sendo eles: média, mediana, seleção, assimetria, curtose, teor de argila, teor de silte, teor de areia e teor de cascalho.

Um procedimento de teste de equivalência usa a probabilidade de significância, ou seja, o p valor. Em outras palavras o p valor mede a força de evidência que rejeita a hipótese nula, a qual afirma que a diferença entre as médias não são significativas. Um p valor pequeno ($p < 0,05$) indica uma forte justificativa para rejeição da hipótese nula. Sendo assim, todos os testes estatísticos foram realizados admitindo-se que as diferenças entre as médias foram significativas em casos onde o p valor da análise de variâncias encontrado foi inferior a 0,05.

Para determinar a probabilidade de significância, foi realizada a análise de variâncias (ANOVA), que visa avaliar a variabilidade dos resultados em relação à média da amostra. Este teste permite que mais de dois grupos sejam comparados ao mesmo tempo, atendendo às necessidades do presente estudo, no qual sete laboratórios foram comparados. Tecnicamente a variância vem a ser a soma de todos os desvios dos dados amostrais em relação à média, soma essa que é dividida pelo grau de liberdade, que consiste no número total de dados da amostra menos 1, ou seja, os espaços existentes entre os dados (SOKAL & ROHLF, 1995).

No entanto, para que a ANOVA possa ser aplicada, devem ser respeitados os seguintes pressupostos: da independência entre os resultados, confirmada pela autonomia entre os laboratórios; da distribuição normal; e da homogeneidade das variâncias (SOKAL & ROHLF, 1995), porém isso não pressupõe que elas deverão ser idênticas, existindo sempre uma faixa de tolerância em torno de qualquer suposta igualdade. O que os testes realmente exigem, é que estas diferenças não sejam exageradas (UNDERWOOD, 1997).

A homogeneidade das variâncias foi avaliada através do teste de Cochran. Este teste determina se há uma diferença entre as variâncias de um grupo de amostras utilizando a razão entre a maior e a soma de todas elas. O que o diferencia dos demais testes, é que Cochran considera a maior variância das amostras no seu cálculo, tornando-o mais preciso (UNDERWOOD, 1997).

Quando a hipótese nula é rejeitada na ANOVA, as diferenças entre as médias são localizadas através de técnicas de comparação múltipla. Para isso foi realizado o teste de Tukey, que deve ser adotado quando se tem interesse em todas as possíveis comparações de médias, duas a duas, como no caso do presente estudo.

3.4. LABORATÓRIOS COLABORADORES

Durante o desenvolvimento do projeto vários laboratórios foram convidados a colaborar com a pesquisa, com a aceitação de sete destes. Listados a seguir de acordo com a ordem alfabética:

- a) Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM/RJ)
 - Laboratório de Geologia;
- b) Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ/RJ)
 - Laboratório de Geografia Marinha - LGM;
- c) Universidade Federal do Paraná (UFPR/PR)
 - Laboratório de Sedimentologia - LABSED;
 - Laboratório de Análise de Minerais e Rochas – LAMIR, e
 - Laboratório de Oceanografia Geológica - LOGEO.
- d) Universidade Federal Fluminense (UFF/RJ)
 - Laboratório de Geologia Marinha - LAGEMAR;
- e) Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI/SC)
 - Laboratório de Sedimentologia.

4. SUMÁRIO DAS METODOLOGIAS UTILIZADAS

4.1. LABORATÓRIO I

A análise deste laboratório segue aos padrões estabelecidos por Folk & Ward (1967). Primeiramente, foi realizada a lavagem da amostra bruta para remoção de sais solúveis e posterior secagem em estufa à 60 °C. Após esse procedimento, as amostras foram desagregadas com pistilo com ponta emborrachada em um recipiente de cerâmica. Alíquotas com cerca de 40 à 50 g foram quarteadas, com auxílio de um quarteador Jones, com o intuito de se obter uma amostra qualitativamente homogênea para a análise. Para os sedimentos mistos, foi utilizada uma quantidade de aproximadamente 80g, enquanto que para amostras essencialmente lamosas a quantidade aproximada foi de 60g.

Antes de se iniciar a análise granulométrica foi efetuada a remoção da matéria orgânica, através do ataque com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) até que cesse a reação, sendo que nas amostras com maiores teores de lama foram adicionado cerca de 200 ml do reagente. Os procedimentos de queima são intercalados com lavagens com 500 ml de água destilada, sendo repetida até que cesse a reação. Após essa etapa, foi separada, por via úmida, a fração fina da fração grossa, através de uma peneira de malha 0,062 mm. O material que ficou preso nessa malha foi seco em estufa, despejado num jogo de 12 peneiras, submetidas à agitação mecânica (rot up) por 15 minutos. As frações retidas foram dispostas em béqueres previamente pesados, descontando-se dos pesos finais para obtenção da fração retida.

Já o material fino, que passa pela malha de 0,062 mm, foi separado numa proveta contendo 1000 ml de água destilada, à qual foi adicionado uma quantidade de Pirofosfato de Sódio, o qual teve seu peso descontado antes de se efetuarem os cálculos finais. Frações de 20 ml foram coletadas de acordo com o tempo e profundidade (TABELA 7), separando-se, dessa maneira, as diferentes frações granulométricas de lama. O controle de temperatura do laboratório não é rigoroso,

no entanto em dias mais quentes utiliza-se o ar condicionado na tentativa de manter a temperatura entre 21 °C.

TABELA 6 - Tempos e Profundidades de Coleta para o Laboratório I

Tempos de Pipetagem	Profundidade da Coleta
3'52"	10 cm
7'44"	10 cm
31'	10 cm
2h 3'	10 cm
8h 10'	10 cm
16h21'	5 cm
65h25'	5 cm

Para análise de teor de Carbonato de Cálcio (CaCO_3), é separada uma quantia aproximada de 50 g de material, a qual é adicionado ácido clorídrico (HCl) diluído à 30%. A remoção do ácido é feita através de sucessivas lavagens com água mineral. O peso resultante dessa dissolução é subtraído do peso inicial, resultando no percentual de CaCO_3 .

4.2. LABORATÓRIO II

Primeiramente, aproximadamente 90 g das amostras que aparentaram possuir um teor maior que 5% de matéria orgânica foram atacadas com 5 à 10 ml peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Para que a reação de queima da matéria orgânica seja mais rápida, as amostras foram acondicionadas sob uma manta aquecedora, cuja temperatura inicia-se com 50 °C, aumentando gradualmente até atingir 80 °C ou 90 °C.

Após a remoção da matéria orgânica, as amostras foram submetidas ao processo de elutriação, que consiste na remoção de partículas finas (silte e argila) através de uma contra-corrente de água, até que o sobrenadante fique aparentemente translúcido. Após a elutriação a amostra foi seca e destinada ao peneiramento. Uma quantidade de amostra foi despejada sob um jogo de 11 peneiras, com intervalos que variam de $\frac{1}{2}$ em $\frac{1}{2}$ Φ , o qual foi submetido à agitação mecânica por 10 minutos.

Nos casos em que a quantidade de material fino foi superior à 5%, a fração é submetida a pipetagem, na qual 20 ml de amostra foram coletadas de acordo com o tempo e profundidade específicos (TABELA 8). As frações coletadas foram alocadas em béqueres previamente pesados, e então secos.

TABELA 7 - Tempos e profundidades de Pipetagem para o Laboratório II

Tempos de Coleta	Profundidades de Coleta
58"	20 cm
3' 52"	20 cm
7'44"	10 cm
31'	10 cm
2h03'	10 cm

A análise dos teores de carbonato de cálcio é realizada através do ataque químico de 10 g da amostra com ácido clorídrico (HCl) diluído à 10% até que cesse a reação (efervescência). Em seguida a amostra é lavada com água morna, para remoção do cloreto formado pela reação do ácido, e seca em estufa. Após a secagem é realizado o cálculo do teor de CaCO_3 em função da massa final.

4.3. LABORATÓRIO III

As análises foram realizadas através de um ensaio casado, onde primeiramente foram analisadas as granulometrias mais grossas até o silte fino através do peneiramento, e posteriormente as granulometrias finas, de silte fino à ultra-argila, através do granulômetro à laser. Não há remoção de matéria orgânica e nem de carbonatos para a realização de ambas as análises.

O material foi seco à estufa, por volta de 70°C. Procedeu-se ao quarteamento com auxílio de um quarteador Jones, separando-se 200 g de material que será utilizado no peneiramento.

O peneiramento é realizado com a intenção de se caracterizar os grãos maiores que 0,18 mm, e os menores são caracterizados através do analisador a laser. Para o peneiramento, cerca de 200 g de material foi utilizado e um jogo de 4 peneiras, com intervalos que não são fixos. As peneiras foram pesadas antes que se despeje o material sobre elas, o qual é desagregado com cerca de 500 ml de água e transferido até que o sobrenadante fique limpo. A seguir utilizou-se um fluxo

constante e baixo de água, com o intuito de se desagregar os grãos, auxiliando na passagem pelas malhas sem que haja quebra das partículas. O material que passou pelo fundo foi descartado. As peneiras foram secas em estufa à 70°C, por aproximadamente 15 horas, depois que foram retiradas, esperou-se aproximadamente 15 minutos para que esfriassem, e então foram pesadas novamente.

Quanto à análise à laser, o equipamento utilizado é da marca CILAS, modelo 1064, o qual utiliza difração de dois lasers, lê tamanhos na faixa de 0,04 à 500 μm , sua precisão é $< 3\%$. Não foi utilizado dispersante, sendo seu sistema de dispersão composto por uma bomba peristáltica e um agitador, ambos com controle de velocidade.

Para a leitura, foi separado material por via úmida pela peneira de 0,18 μm , com água destilada, a qual serve também para diluir a amostra. Antes de iniciar cada análise, o equipamento efetuou 3 lavagens com água filtrada, e a análise de um padrão (branco). Para varredura, uma concentração entre 120 e 170 mg/l de material foi adicionada, considerando-se esse intervalo ideal, pois valores acima dele podem causar agregação devido ao espaço pequeno da placa de cristal na qual é feita a leitura. Os grãos foram absorvidos por um cristal líquido, através do qual ocorreu a incidência do laser durante 60 (o tempo pode ser alterado, conforme a intenção do estudo).

4.4. LABORATÓRIO IV

O quartemanento das amostras foi realizado manualmente, retirando-se de 60 à 80g de amostra para se proceder às análises. Os sais solúveis foram removidos das amostras antes do início das análises, para isso, procedeu-se à lavagem das mesmas com água destilada, deixando o material decantando durante 24 horas, e retirando-se a água sobrenadante através do sifonamento. Esse processo foi repetido 3 vezes, secando-se o material em seguida em estufa à 40°C, levando em torno de 3 dias para completar o processo.

A matéria orgânica presente no sedimento foi eliminada com a adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 10%. Foi adicionada água à amostra, até que esta

fosse completamente coberta, sendo então submetida a uma chapa aquecedora a 70°C. Já com a amostra aquecida, adicionou-se 5 ml de peróxido, repetindo-se a adição até que a reação parasse. Para a retirada dos resíduos da reação, completou-se a amostra com 1000 ml de água destilada, deixando-a decantar durante 24 horas, ou até que a coluna não apresentasse mais sólidos em suspensão e a água estivesse visivelmente límpida, retirando-a através do sifonamento. O procedimento da lavagem foi repetido 3 vezes.

O carbonato presente na amostra foi eliminado através da adição de 5 ml de ácido clorídrico (HCl) a uma concentração de 30%. A adição foi feita até que a reação se estabilizasse. A retirada do ácido foi feita com água destilada, esperando-se 24 horas até que a coluna de água estivesse límpida, retirando-se a água também através do sifonamento. Esse procedimento de lavagem foi realizado 5 vezes.

Quando a presença frações com diâmetros inferiores à 0,062 mm apresentou-se superior à 5%, procedeu-se a pipetagem. As frações foram separadas através do peneiramento úmido, com aproximadamente 900 ml de água destilada, nos casos em que essa quantidade foi ultrapassada, o excesso foi removido através do sifonamento, cuidando sempre para que não ocorresse perda de material. Cerca de 1g de defloculante foi acondicionado em um béquer com 60 ml de água destilada, sendo em seguida disposto sobre uma manta aquecedora à 60°C, até a dissolução do defloculante, atentando para que a água não fosse completamente evaporada, adicionando-se, então, o conteúdo a amostra. O conteúdo foi homogeneizado com auxílio de um agitador, esperando-se 24 horas para se iniciar a pipetagem, desde que não seja observada a floculação. nos casos em que a floculação foi observada mais defloculante foi adicionado. Antes de se iniciar a coleta do material, os béqueres nos quais este foi dispensado tiveram seus pesos quantificados e anotados.

Os tempos da coleta (TABELA 9) são estipulados com base nas temperaturas dos locais onde são procedidas, já que o laboratório não possui temperatura controlada e nem umidade.

TABELA 8 - Tempos e profundidades de pipetagem do Laboratório IV

16 °C		20 °C	
Tempos	Profundidades	Tempos	Profundidades
20"	20 cm	20"	20 cm
2' 09"	10 cm	1' 57"	10 cm
8' 29"	10 cm	7' 40"	10 cm
34'	10 cm	31'	10 cm
2h 15'	10 cm	2h 03'	10 cm
4h 18'	5 cm	3h 53'	5 cm
25h 05'	7 cm	22h 41'	7 cm
24 °C		28 °C	
Tempos	Profundidades	Tempos	Profundidades
20s	20 cm	20s	20 cm
1m46s	10 cm	1m37s	10 cm
6m58s	10 cm	6m22s	10 cm
28m	10 cm	25m	10 cm
1h51m	10 cm	1h42m	10 cm
3h32m	5 cm	3h14m	5 cm
20h37m	7 cm	18h50m	7 cm

Após a coleta o material foi colocado em uma estufa com temperatura de 40 °C, sendo pesadas após estarem completamente secos.

A fração grossa (> 0,062 mm) foi analisada através do peneiramento seco, sendo de extrema importância que a amostra esteja completamente seca. Em seguida foi disposta em um jogo de 13 peneiras em ordem decrescente de tamanho da abertura de suas malhas, sendo submetidas à agitação mecânica por 20 minutos. Após a agitação as frações foram pesadas.

4.5. LABORATÓRIO V

As amostras foram quarteadas manualmente, separando-se cerca de 100 g de material para a análise. Para remoção de sais solúveis, as amostras foram lavadas, utilizando-se um Becker de 1000 ml e água destilada, respeitando um tempo necessário para que fosse observada a decantação dos sedimentos finos. O processo foi repetido nos casos necessário. Após a remoção dos sais, a amostra foi seca à estufa com temperatura por volta de 60 °C.

A remoção da matéria orgânica foi feita através da adição de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), primeiramente à 30% e, após um tempo de reação, à 100%, colocando-se a amostra em uma manta aquecedora a 90 °C de temperatura. Para

remoção do reagente, adicionou-se 1000 ml de água destilada, sendo respeitadas 72 horas de decantação, trocando a água e esperando novamente quando necessário. Depois da remoção, as amostras são secas em estufa com temperatura a 45° C.

Para separação úmida das frações grossas e finas, utilizou-se uma peneira de 0,062 mm, destinando-se as porções finas à pipetagem e as grossas ao peneiramento. A fração grossa (> 0,062 mm) foi seca para determinação do peso inicial, procedendo-se ao peneiramento em um jogo de 31 peneiras, com intervalos de $\frac{1}{4} \Phi$ da escala, submetidas a agitação mecânica durante 10 minutos. Em seguida os pesos retidos foram pesados.

A fração fina foi submetida a pipetagem, na qual 10 g de sedimento é adicionado à água destilada com Hexametáfosfato de sódio (antifloculante), produzindo 1000 ml de solução, agitada durante 1 minuto para se tornar homogeneamente diluída. A pipetagem foi parcial, objetivando apenas a separação do silte e argila, sendo retirada a fração da suspensão após duas horas, com pipetagem a 10 cm, como mostra a Tabela 4. Após cada pipetagem a amostra na proveta foi agitada e permaneceu em repouso até a pipetagem seguinte. O material recolhido em cada pipetagem (20 ml) foi colocado em um Becker, seco em estufa e pesado, obtendo-se o peso do sedimento no volume coletado, que foi então relacionado com o peso inicial da amostra. Não há controle de temperatura no laboratório, sendo os tempos e profundidades de pipetagem fixos (TABELA 10).

TABELA 9 - Tempos e alturas de pipetagem para o Laboratório V

PIPETAGEM DA FRAÇÃO SÍLTICA	
Profundidade	Tempo
10 cm	3' 52"
10 cm	7' 44"
10 cm	31'
10 cm	2h 3'
PIPETAGEM DA FRAÇÃO ARGILOSA	
Profundidade	Tempo
10 cm	8h 10'
5 cm	16h 21'
5 cm	65h 25'

Para determinação dos teores de carbonato de cálcio, adiciona-se gradativamente uma solução 30% de ácido clorídrico (HCl) até que a reação não ocorra mais. Proceda-se então várias lavagens com água destilada para retirar o

resíduo do ácido, sempre respeitando o tempo de decantação dos finos. A amostra é seca em estufa em torno de 45°C.

4.6. LABORATÓRIO VI

A amostra seca foi atacada com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 10% até que se verificou a total remoção da matéria orgânica. Também foram removidos os carbonatos através da adição de HCl 10% até que a reação parasse. Em seguida o resíduo descarbonatado foi colocado em dispersão com hexametáfosfato desódio e colocado em agitação durante 8 horas.

A quantificação das frações granulométricas foi realizada através do analisador de partículas a laser Mastersizer 2000 da Malvern Instrument, sendo a unidade de dispersão de amostra o Hidro G, que apresenta 100 peneiras. Quando adicionada à cuba, a amostra sofreu uma desfloculação física com ultra-som por 10'. A cuba do equipamento acomoda até 1 litro de solução aquosa, sendo a concentração utilizada variável de acordo com o tipo de material analisado. Não foi realizada a análise do branco, já que a acuidade dos sensores é testada através de padrões de análise. Após cada leitura o equipamento realizou três ciclos de lavagens completa, caso as lentes estejam sujas o equipamento não consegue alinhá-las.

4.7. LABORATÓRIO VII

Primeiramente amostras arenosas foram quarteadas manualmente, sendo aproximadamente 80g destinada à estufa com temperatura superior à 60°C para secagem. Cerca de 50 g de material já seco, foi diluído em 150 ml de água destilada, passando por um processo de elutriação, que consiste na remoção de partículas finas através de um fluxo constante e ascendente de água até que o sobrenadante esteja translúcido. O material remanescente foi filtrado e seco em estufa, e peneirado com jogo de 12 peneiras, com intervalo de 0,5 phi, durante 10 minutos no rot up.

Para sedimentos lamosos, cerca de 80 g ou mais de material foi atacado com 150 ml de Peróxido De Hidrogênio (H_2O_2) à 30%, na capela de exaustão de gases, até que toda a matéria orgânica fosse aparentemente eliminada. Então a amostra foi seca em estufa à temperatura superior à $50^\circ C$. Cerca de 50 g do material seco foi diluído com 150 ml de água destilada juntamente com 1g de sal defloculante (Pirofosfato de Sódio), cujo peso foi anotado e descontado após as análises. Essa solução foi agitada por 10' no mixer, e então peneirada na malha de 0,062 mm, por peneiramento à úmido com água destilada. Os grãos que passaram pela peneira foram recuperados numa proveta de 1 litro, na qual se procedeu a pipetagem. O material retido na peneira foi submetido ao peneiramento, seguindo o mesmo procedimento de peneiramento de material arenoso.

A pipetagem segue os tempos e profundidades de acordo com a temperatura da suspensão (TABELA 11), conforme os valores calculados pela Lei de Stokes. Foram coletadas cinco alíquotas, de 20 ml cada, adicionadas em béqueres de 100 ml, previamente pesados, e secas em estufa à temperatura superior à $50^\circ C$.

TABELA 10 - Tempos e Profundidades de Pipetagem do Laboratório VII

20 °C		21 °C		22 °C		23 °C	
Tempo	Altura	Tempo	Altura	Tempo	Altura	Tempo	Altura
58''	20 cm	57'	20 cm	55''	20 cm	54''	20 cm
03'54''	20 cm	03'48''	20 cm	03'43''	20 cm	03'37''	20 cm
07'48''	10 cm	07'36''	10 cm	07'26''	10 cm	07'15''	10 cm
31'14''	10 cm	30'27''	10 cm	29'44''	10 cm	29'01''	10 cm
2h04'58''	10 cm	2h01'48''	10 cm	1h58'59''	10 cm	1h56'04''	10 cm
24 °C		25 °C		26 °C		27 °C	
Tempo	Altura	Tempo	Altura	Tempo	Altura	Tempo	Altura
53''	20 cm	51''	20 cm	50''	20 cm	49''	20 cm
3'32''	20 cm	03'27''	20 cm	03'32''	20 cm	03'18''	20 cm
07'05''	10 cm	06'55''	10 cm	06'45''	10 cm	06'36''	10 cm
28'20''	10 cm	27'42''	10 cm	27'03''	10 cm	26'27''	10 cm
1h53'22''	10 cm	1h50'48''	10 cm	1h48'14''	10 cm	1h45'48''	10 cm
28 °C		29 °C		30 °C			
Tempo	Altura	Tempo	Altura	Tempo	Altura		
48''	20 cm	47''	20 cm	46'	20 cm		
03'13''	20 cm	3'9''	20 cm	03'05''	20 cm		
06'27''	10 cm	6'19''	10 cm	06'11''	10 cm		
25'50''	10 cm	25'17''	10 cm	24'44''	10 cm		
1h43'21''	10 cm	1h41'9''	10 cm	1h38'57''	10 cm		

Para análise de teores de carbonato de cálcio, é utilizada uma fração de 10 g de material, previamente seco em estufa à aproximadamente 60°C. Então adiciona-se 20 ml de HCl 10%, até que cesse a reação (efervescência). O material é lavado com água destilada e filtrado em filtro qualitativo, previamente pesado, seco em estufa à temperatura superior à 60°C e pesado.

5. RESULTADOS

Como mencionado anteriormente, foi realizado, primeiramente, o Teste de Cochran para avaliar a homogeneidade das distribuições, admitindo-se homogeneidade quando p valor $< 0,05$, caso contrário, tratando-se os dados. Avaliado esse pressuposto, procedeu-se a realização da ANOVA, na qual p valor $< 0,05$ caracteriza diferenças significativas entre os resultados, as quais foram confirmadas pelo Teste de Tukey. A seguir são dispostos os resultados dos testes em relação aos parâmetros granulométricos mais representativos, assim como suas distribuições granulométricas de cada réplica obtidas por todos os laboratórios e a distribuição encontrada para cada ponto por cada laboratório.

5.1. Ponto 1

Para todos os parâmetros, o Teste de Cochran concluiu homogeneidade da distribuição, com todos os p valores inferiores à $0,05$, sendo os laboratórios I e VI os que apresentaram a maior variação em relação aos demais (GRÁFICO 1).

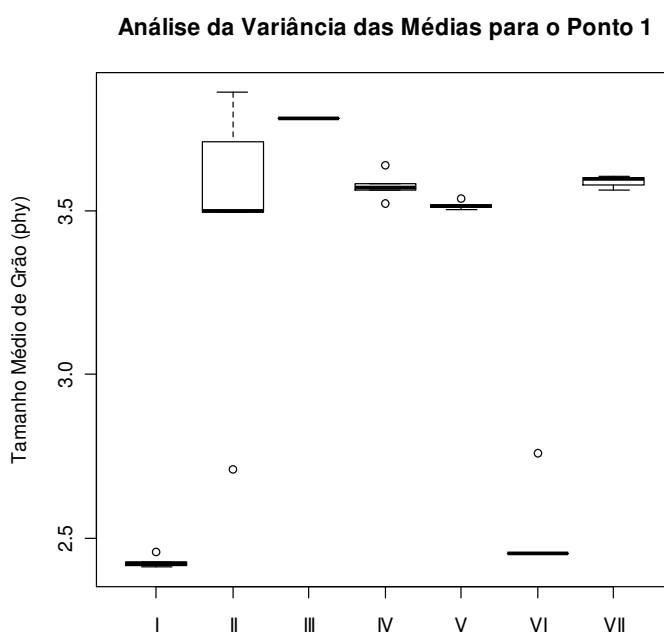


GRÁFICO 1 - Análise da Variância das Médias em relação ao Ponto 1

Para os teores de cascalho (GRÁFICO 2) e teores de argila (GRÁFICO 3) os resultados apresentados pelo laboratório II foram extremamente discrepantes dos demais.

Análise da Variância das % de Cascalhos para o Ponto 1

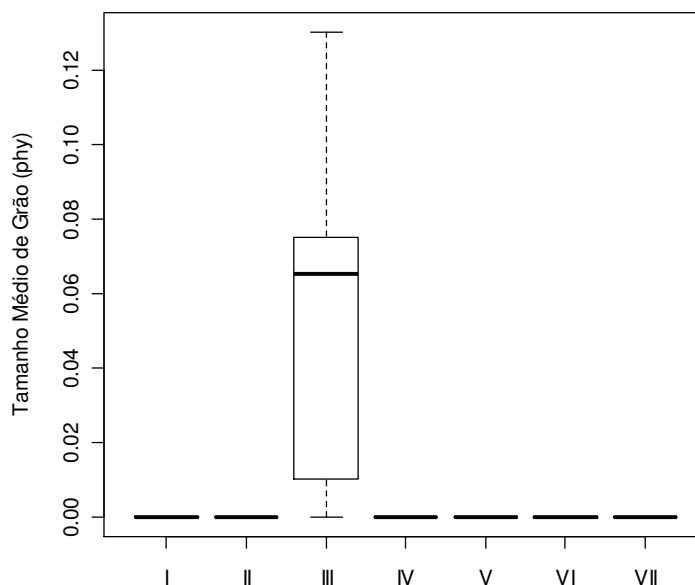


GRÁFICO 2 – Análise da Variância das Porcentagens de Cascalho em relação ao Ponto 1

Análise da Variância das % de Argilas para o Ponto 1

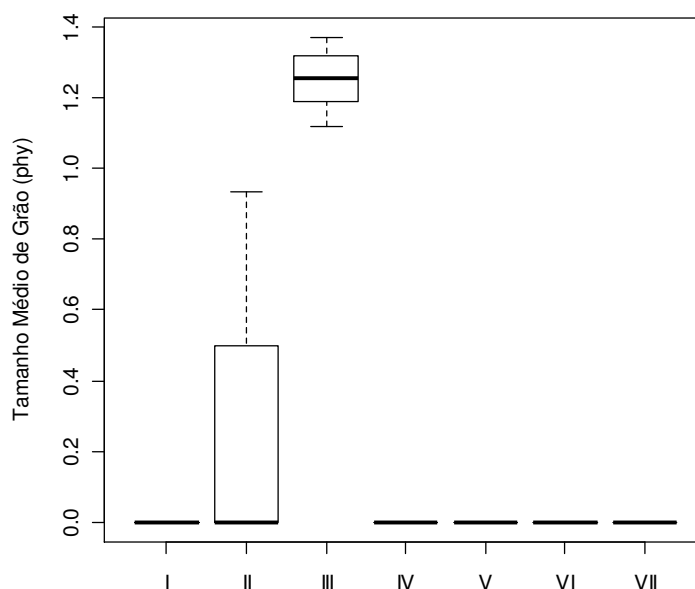


GRÁFICO 3 - Distribuição das Variâncias em relação aos teores de Argilas para o Ponto 1

Através da curva de frequência acumulada, pode-se confirmar visualmente a maior diferença dos laboratórios I e VI em relação aos outros (GRÁFICO 4). Estas

diferenças foram corroboradas através do teste de Tukey, o qual certificou que as mais significativas se deram entre os laboratórios I, II, III e VI, sendo que os laboratórios V e VII foram os que mais se aproximaram dos demais.

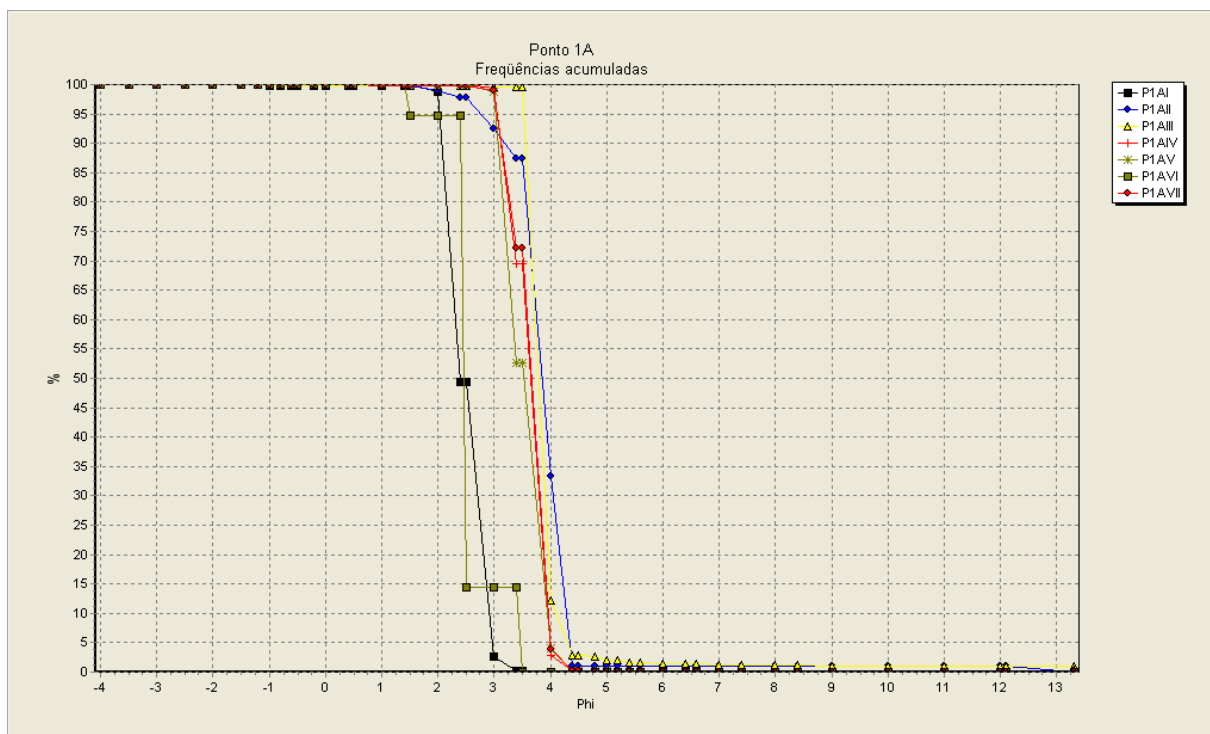


GRÁFICO 4 – Frequências acumuladas do ponto P1A para todos os laboratórios

Em relação às réplicas, o Laboratório II apresentou as maiores diferenças com os pontos P1A e P1B apresentando variações entre $1,5\Phi$ e 4Φ . Os pontos P1C, P1D e P1E apresentaram diferenças para as classes entre $3,5\Phi$ e $6,5\Phi$ (GRÁFICO 5). Os demais laboratórios apresentaram uma distribuição homogênea, com maiores diferenças entre as classes de 2Φ e 4Φ .

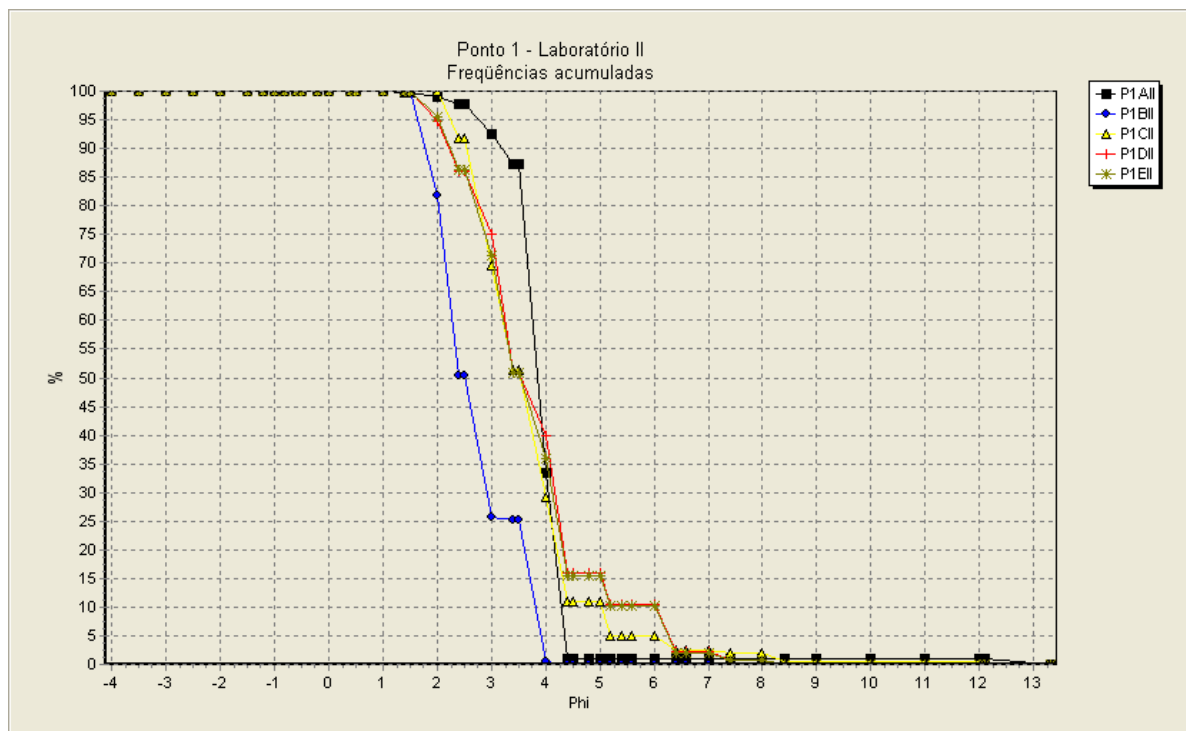


GRÁFICO 5 – Frequências acumuladas obtidas pelo laboratório II para todas as réplicas do ponto P1

5.2. Ponto 2

O Teste de Cochran concluiu homogeneidade da distribuição para todos os parâmetros, com todos os p valores inferiores à 0,05, sendo os laboratórios I, II e VI os que apresentaram a maior diferença em relação aos demais e o laboratório V a maior variação em relação à média (GRAFICO 6).

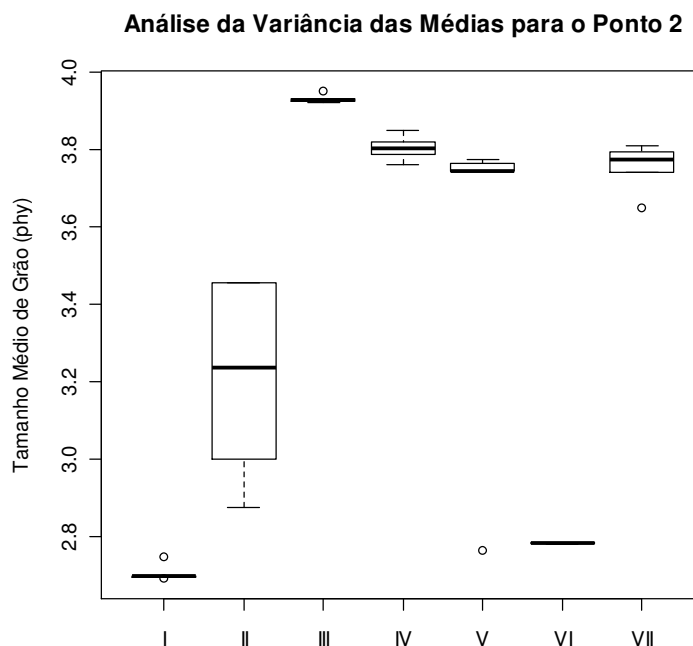


GRÁFICO 6 – Análise das Variâncias das Médias em relação ao Ponto 2

A curvas de frequência acumulada de cada réplica mostraram que ocorreram diferenças grandes em relação à todos os laboratórios. Para todas as réplicas, pode-se verificar uma semelhança entre as distribuições obtidas pelos laboratórios I, II e VI para as classes entre 2Φ e 3Φ , e para os demais laboratórios as semelhanças ocorrem entre 3Φ e 4Φ . Para as classes superiores à 4Φ a distribuição segue irregular para todos os laboratórios (GRAFICO 7). Através do teste de Tukey foram confirmadas as diferenças o qual certificou que as mais significativas se deram entre os laboratórios I, II, III e VI.

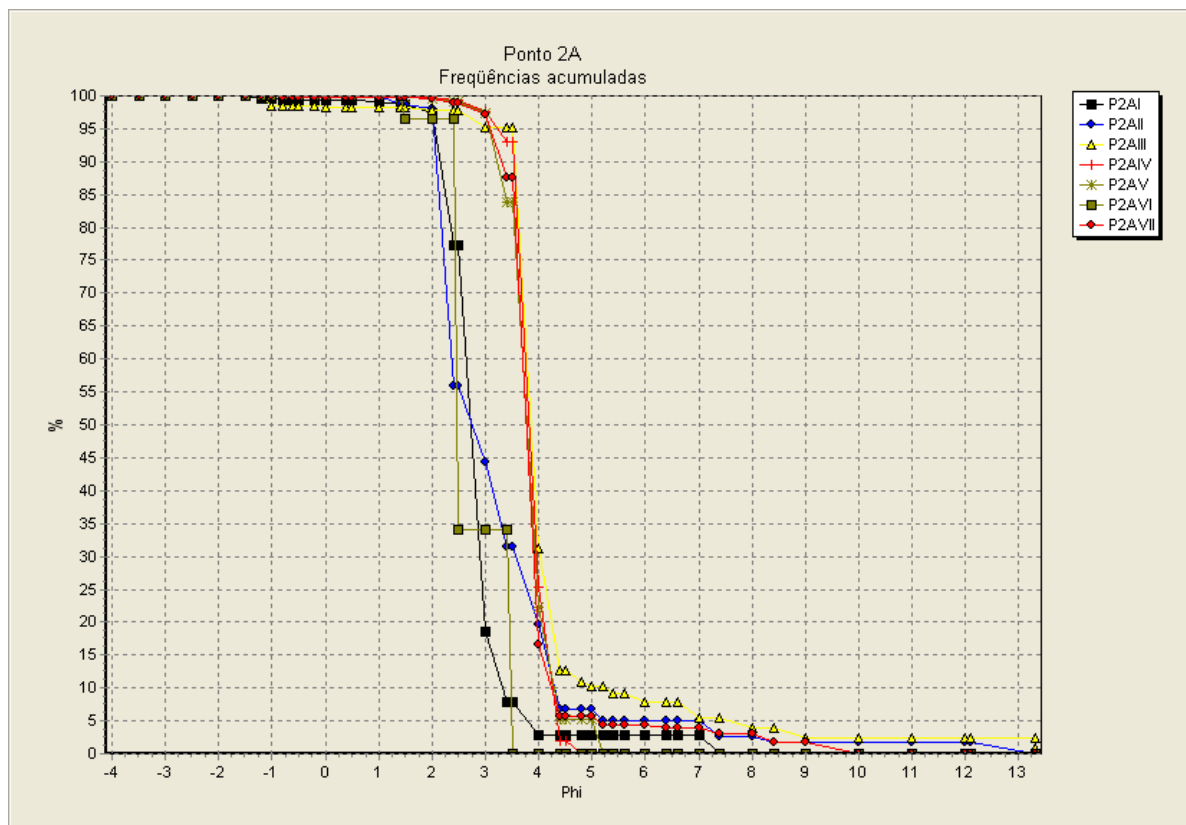


GRÁFICO 7 – Frequências acumuladas do ponto P2A para todos os laboratórios

Em relação às réplicas, os laboratórios que mais apresentaram variação da distribuição foram os laboratórios II para todas as réplicas (GRAFICO 8), e o laboratório V para a réplica B em relação às demais (GRAFICO 9). Para todos os outros laboratórios as distribuições foram homogêneas.

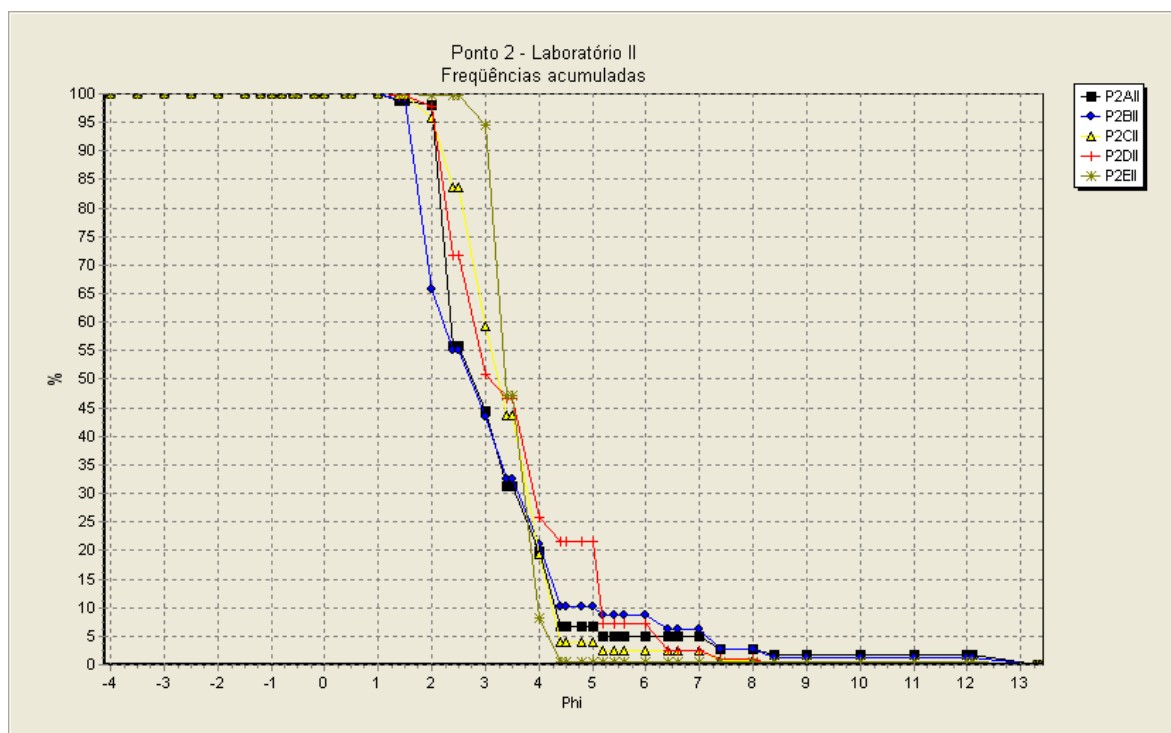


GRÁFICO 8 – Frequências acumuladas obtidas pelo laboratório II para todas as réplicas do ponto P2

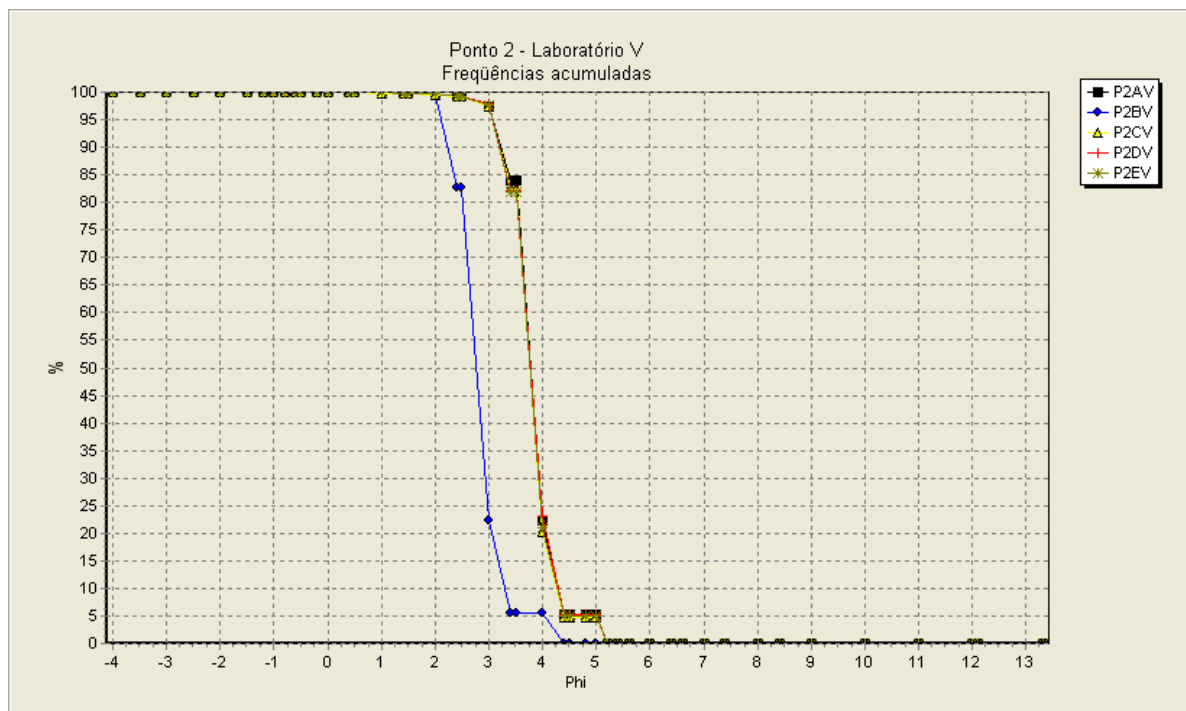


GRÁFICO 9 - Frequências acumuladas obtidas pelo laboratório V para todas as réplicas do ponto P2

5.3. Ponto 3

Todos os parâmetros apresentaram distribuição homogênea de acordo com o teste de Cochran, no entanto as diferenças foram bem grandes para todos os laboratórios (GRAFICO 10).

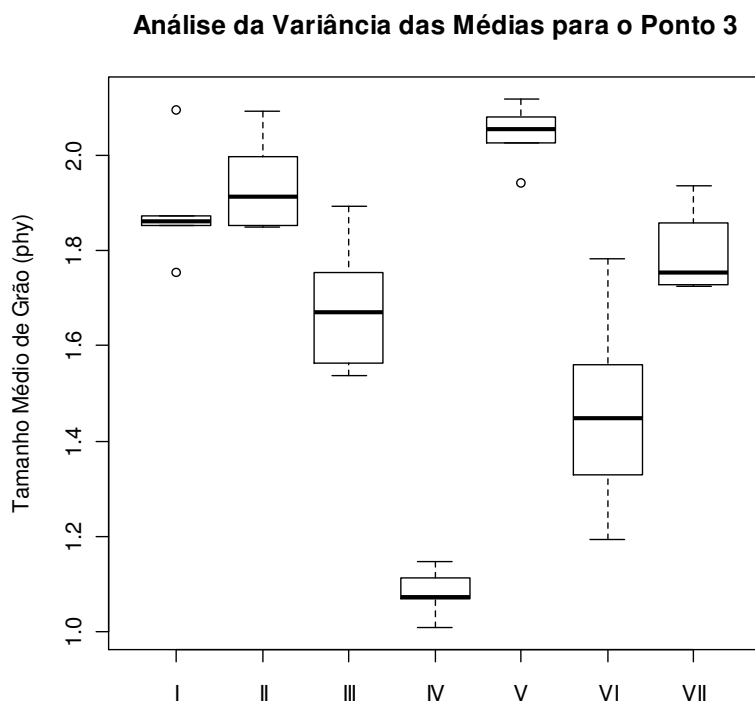


GRÁFICO 10 - Análise das Variâncias das Médias em relação ao Ponto 3

As curvas de frequências mostraram a disparidade das distribuições entre todos os laboratórios para todas as réplicas, sendo os laboratórios II e IV os que mais se distanciaram dos demais (GRÁFICO 11).

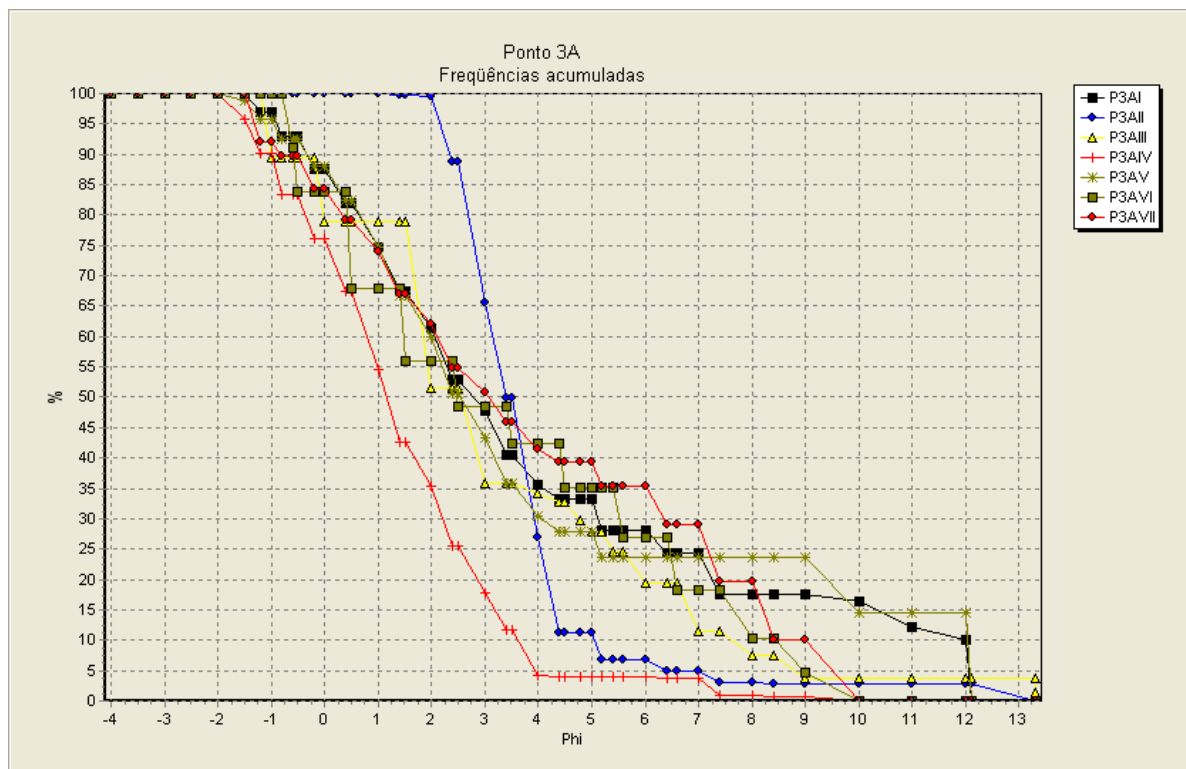


GRÁFICO 11 - Frequências acumuladas do ponto P3A para todos os laboratórios

Para as réplicas todos os laboratórios apresentaram diferenças pequenas em sua distribuição, sendo a mais acentuada apresentada pelo laboratório VI (GRÁFICO 12). O laboratório que apresentou a maior proximidade entre suas réplicas foi o IV (GRAFICO 13).

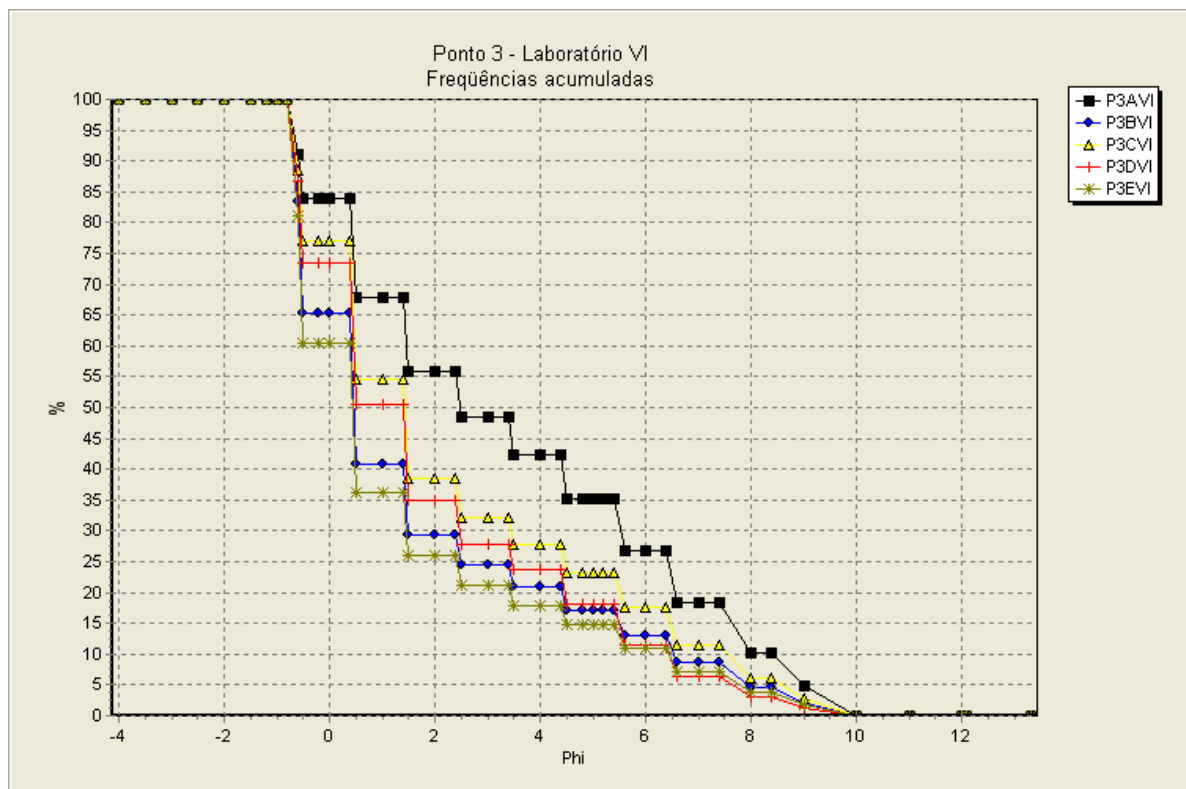


GRÁFICO 12 - Frequências acumuladas obtidas pelo laboratório VI para todas as réplicas do ponto P3

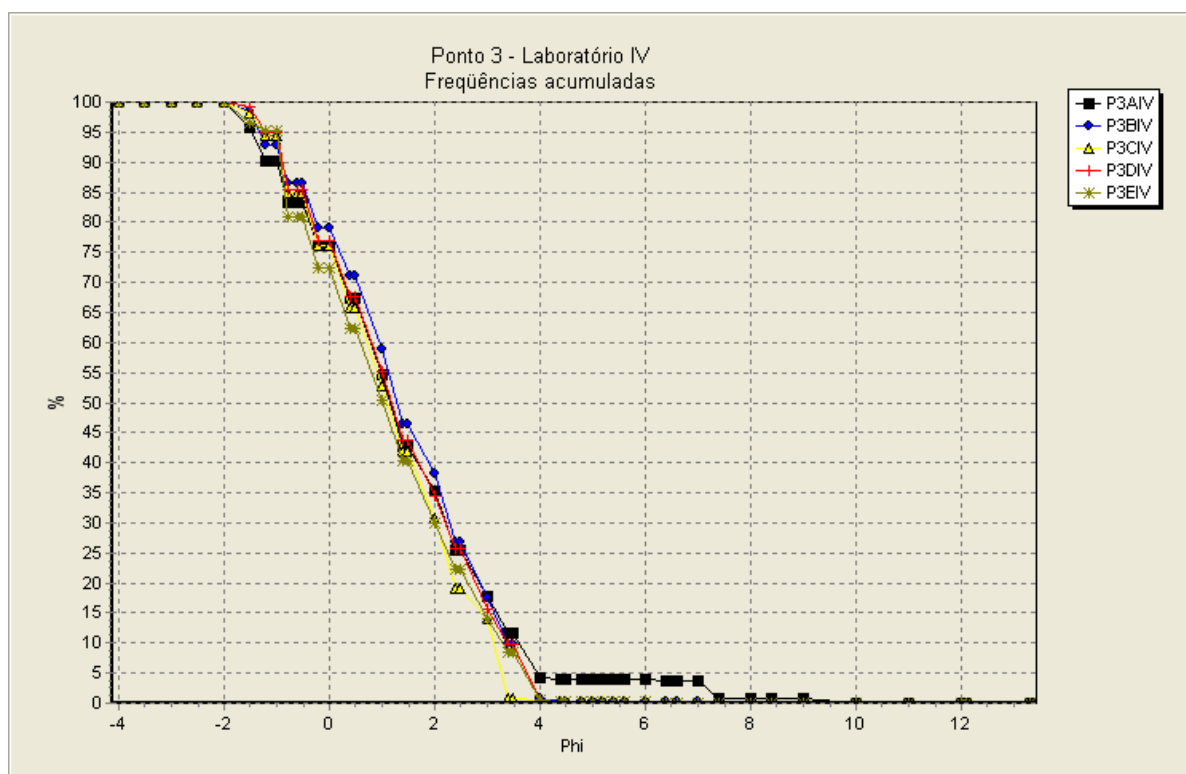


GRÁFICO 13 - Frequências acumuladas obtidas pelo laboratório IV para todas as réplicas do ponto P2

6. DISCUSSÃO

Os resultados de análises granulométricas, de uma mesma parcela de sedimentos, através de procedimentos distintos geraram diferenças significativas em todos os parâmetros obtidos. Essas diferenças possivelmente são resultado de, além das diferentes características das análises, diferenças entre as condições ambientais de cada laboratório, principalmente a temperatura, e da maneira singular de cada técnico avaliar a amostra.

6.1. PONTO 1

Para o Ponto 1 todos parâmetros obtidos apresentaram diferenças significativas. Como este ponto tinha uma característica arenosa bem acentuada, as diferenças provavelmente foram resultantes dos procedimentos de tamização ou, como no caso dos laboratórios III e VI, da análise a laser.

Especialmente no peneiramento, as formas dos grãos representam uma importante influência sobre os resultados da análise granulométrica. De acordo com Suguio (1973), a passagem da fração fina, no peneiramento, pode ser dificultada pela presença de grãos grosseiros, que podem obstruir a malha evitando a passagem dessas partículas. O tempo de agitação mecânica atrelada à frequência constitui um fator importante na discussão dessa diferença, pois pode ser observado que as altas frequências fazem com que frações finas voltem às peneiras superiores ou fiquem aderidas à parte inferior dessas, sendo contabilizadas como um diâmetro superior ao real. Caso a frequência seja muito baixa poderá haver uma subestimação da quantidade de fração fina que passa pela malha, já que a força aplicada não é suficiente para que esses grãos atravessem-na, assim como não move os grãos mais pesados, que acabam agindo como uma barreira. Assim, a eficiência do peneiramento deve-se à união de um tempo de peneiramento elevado com uma frequência apropriada.

Para todos os parâmetros estatísticos a distribuição permaneceu homogênea, sendo que os Laboratórios I e VI apresentaram maiores diferenças em

relação aos demais, no entanto seus resultados foram semelhantes entre si. Quanto ao laboratório I, o tamanho médio dos grãos foi menor se comparado ao encontrado pelos outros laboratórios, o que pode ocorrer devido ao tempo maior de agitação mecânica atrelado a uma frequência ideal.

O laboratório VI realizou apenas a análise a laser que apresenta uma maior eficiência para sedimentos finos, o que não é o caso do Pontos 1. Como foi salientado por Folk (1968), uma amostra grosseira possui menores quantidades de grãos por unidade de peso, já que seu tamanho é maior. No entanto, para uma mesma quantidade de amostra de sedimentos finos e grossos, os últimos estarão mais próximos entre si devido à sua dimensão, o que na análise a laser pode causar um re-espalhamento (MALVERN, 2009), mascarando os dados. Portanto é aconselhável que, amostras com frações grosseiras não sejam analisadas apenas pelo laser, mas sim através de um estudo casado, caso contrário, a quantidade utilizada deverá ser apropriada e controlada de acordo com a granulometria. Este laboratório não realiza a análise casada, o que pode ser um dos motivos mais influentes na diferença encontrada em relação aos demais.

A diferença entre os Laboratórios III e VI foram extremamente significativa, sendo que o III apresentou maior eficiência dos resultados, ou seja, sua distribuição apresentou-se linear em relação à sua mediana, o que pode ser atribuído ao fato de que o laboratório realiza um ensaio casado entre peneiramento e laser. Vale ressaltar ainda que a eficiência também pode estar atrelada ao peneiramento úmido, no qual o fluxo de água lava os grãos, sendo muito eficiente no desmanche dos agregados, já eliminando dessa maneira problemas quanto à agregação, frequência e tempo de agitação.

Para as porcentagens de cascalhos, a maior variação foi a do Laboratório III, podendo ser resultado do pequeno número de peneiras utilizadas para detecção das frações grossas, fazendo com que haja um intervalo menor entre as peneiras, e conseqüentemente, que o acúmulo de amostra nas classes maiores seja superior. Quanto ao intervalo das peneiras, Folk (1968) afirma que para um trabalho mais apurado, o ideal é que se utilizem peneiras com intervalos e $1/4\Phi$, para trabalhos mais tempestuosos são aceitáveis limites de $1/2\Phi$ e, como é o caso do Laboratório III, os intervalos de 1Φ , por serem muito esparsos dificilmente geram resultados significativos.

Em relação aos teores de argilas, o Laboratório III apresentou as diferenças mais significativas, que podem ter sido resultado da análise a laser, que dá uma precisão maior quanto aos sedimentos mais finos. Vale ressaltar que o laboratório VI, que também realizou a análise a laser, teve resultados próximos dos demais, padrão esse que pode ter resultado da alta concentração de material mais grosso, o que pode ter impedido que fosse realizada a leitura das partículas menores. Quanto ao peso inicial, pode se observar grande disparidade, tanto nos métodos descritos quanto nos utilizados pelos laboratórios participantes. A idéia de que a quantidade deve ser apropriada a granulometria e a quantidade de peneiras utilizadas (FOLK, 1968) deve ser respeitada.

Já para o laboratório II verificou-se um erro amostral em relação às réplicas. Estas diferenças podem estar atreladas à eficiência do peneiramento (tempo e frequência), formação de agregados devido à temperatura das estufas e ao tempo de secagem das amostras, já que esse fator altera o grau de coesão entre as partículas, assim como, e à eficiência da desagregação. A desagregação, descrita por Folk (1968), representa uma importante etapa da análise, que dificilmente é descrita pelos demais autores, e que pode significar muito no resultado final. A idéia de que a quantidade de agregados presentes na amostra deve ser descontada é realmente relevante, já que a presença dessas formações pode levar a estimativa de uma granulometria maior do que a verdadeira. Os problemas ligados às réplicas também podem ser explicados pela má homogeneização ou até mesmo por diferenças no processo de quarteamento das amostras, sendo que o processo mecânico, além de ser mais preciso, apresenta um certo padrão no procedimento.

A remoção dos carbonatos para a realização do peneiramento é um procedimento inadequado, já que os carbonatos desde que formados, reagem aos processos físicos de transporte e deposição, assim como os sedimentos litoclásticos (MOORE, 1989).

6.2. PONTO 2

Os resultados dos parâmetros do Ponto 2 também apresentaram diferenças significativas. Estas podem estar atreladas tanto aos processos de peneiramento,

descrito anteriormente, pipetagem e à análise a laser, já que o ponto apresenta características tanto de sedimentos finos quanto grossos.

Em relação à pipetagem, devido às diferentes viscosidades as partículas possuem velocidades diferentes de acordo com a temperatura da solução. No entanto, como os efeitos deste parâmetro não são lineares, as partículas com maiores velocidades de decantação são mais afetadas do que aquelas com baixa velocidade. Como resultado, as curvas de distribuição de tamanho e estatísticas associadas a distribuição psi (média, desvio padrão e simetria), podem ser afetadas pela mudança da temperatura (FLEMMING, 2000).

Assim, é importante que se adote uma temperatura padrão antes das análises, ou que as coletas sejam feitas de acordo com os tempos corrigidos. De acordo com Flemming (2000) a utilização de temperaturas específicas pode ser importante na determinação de locais de sedimentação e ocorrência de processos de transporte sedimentar. A regra geral diz que quanto maior a diferença entre a temperatura local e a temperatura padrão maior será a diferença entre as formas das curvas. Por exemplo a velocidade de decantação de um grão de quartzo na água doce à 20° C é de 0,774 cm/s e à 5° C, 536cm/s. em relação à salinidade, apenas nos casos desta ser muito alta as variações na velocidade são significativas.

Apenas os Laboratórios VII e IV realizam a pipetagem de acordo com a temperatura da solução, e o segundo ainda conta com o controle de temperatura ambiente, fatores estes, como mencionados anteriormente, essenciais para a obtenção de resultados precisos. As diferenças encontradas para os resultados das variâncias da média dos Laboratórios I, II e VI, para as assimetrias dos Laboratórios II, III e VI e grau de seleção, referentes aos Laboratórios II, III, V, VI, podem ser resultantes deste fator.

Outro fator que pode ser responsável por algumas diferenças nos resultados e a remoção de sais solúveis. Como já foi visto, em casos de hiper – salinidade as variações na temperatura de sedimentação são significantes. Muitas vezes amostras provenientes de regiões onde esse valor é elevado apresentam uma predisposição à floculação muito grande, condição esta resultante da presença de íons solúveis de cargas elétricas opostas. Dessa forma, é importante que seja realizada a remoção de sais solúveis, para que os resultados das velocidades de decantação não sejam mascarados. Pode-se observar a remoção dos sais apenas para os Laboratórios I e

IV, e diferenças significativas de seus resultados para os parâmetros seleção e mediana.

A adição de defloculante muitas vezes pode surtir um efeito contrário da sua real finalidade. Grandes quantidades podem também ser responsáveis por processos de floculação, já que esses compostos se dissociam em íons quando estão em solução. Dessa forma, a quantidade de defloculante adicionada deverá ser adequada á quantidade de solução, e caso a floculação não ocorra, a adição pode ser descartada.

Após a adição do dispersante é importante que a solução seja bem agitada, para que este se dissolva e seja bem misturado ao material. Geralmente a adição do defloculante é feita antes da separação das frações que serão destinadas ao peneiramento e à pipetagem, no entanto, como mencionado anteriormente, caso não seja verificada a floculação não é necessário acrescentá-lo. Da fração que é destinada a pipetagem é descontada a quantidade de defloculante, no entanto da fração que é destinada ao peneiramento, quando se realiza a separação das frações, não, uma sugestão é que esse peso também deverá ser descontado, já que não é certo se o defloculante é totalmente dissolvido. Muitas vezes observa-se que ele não se dissocia quando adicionado diretamente à água, então pode ser que ele não seja totalmente dissolvido e que durante a separação das frações parte seja retida na peneira e seja computada no peneiramento. Por isso, conclui-se que quanto maior o tempo de agitação da amostra maior a dissolução, sendo sugerido por Folk (1968) 5 minutos.

Para o presente trabalho, tanto as quantidades de defloculante, os tipos e quanto ao tempo de agitação da amostra apresentam disparidades. O Laboratório I apresenta o menor tempo de agitação, no entanto a quantidade adicionada não é tão grande, e as diferenças de seus resultados não foram frequentes. O mesmo padrão observa-se para o Laboratório V, que apresenta o mesmo tempo.

Os Laboratórios III e VI, que realizaram a análise a laser, apresentaram diferenças entre eles para todos os parâmetros obtidos. Estas diferenças podem ser resultantes tanto da análise dos sedimentos mais grossos que, como já foi mencionado, é realizada separadamente pelo primeiro, ou pela utilização ou não de dispersantes. O Laboratório III não utiliza nenhum dispersante, enquanto que o outro sim, o que teoricamente seria o procedimento correto, pois a floculação também

pode ocorrer já que não é realizada a remoção dos sais solúveis por nenhum dos dois.

Um fator que também é discutível na análise de sedimentos finos diz respeito à remoção da matéria orgânica. Todos os laboratórios removem-na com a adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), em quantidades e concentrações variáveis. Porém o quesito mais importante dessa fase, talvez seja a remoção dos resíduos resultantes da reação de queima, já que contribuem para o peso da amostra. Assim, as quantidades de lavagens efetuadas e os solventes utilizados devem ser considerados. Nesse caso, verifica-se a utilização de água destilada para a maioria dos laboratórios, e água morna apenas pelo Laboratório II, o qual apresentou maior frequência de disparidades.

Em relação ao peneiramento, as diferenças encontradas para as médias e medianas dos Laboratórios I, II, IV e VI podem estar ligadas ao tipo de quarteamento, já que o processo mecânico é mais eficiente e não permite vícios amostrais.

A remoção dos carbonatos pelo Laboratório IV e VI para a análise granulométrica pode ter influenciado muito os resultados obtidos. Os carbonatos fazem parte da constituição dos sedimentos, tendo influência na dinâmica e não podendo ser desconsiderado.

6.3. PONTO 3

A grande maioria das diferenças observadas em relação ao Ponto 3 podem estar diretamente ligadas aos fatores discutidos para o Ponto 2, já que as análises utilizadas para análise das frações finas são semelhantes.

Para todos os parâmetros foram observadas diferenças em relação ao Laboratório IV, que pode resultar da ineficiência do processo de remoção da matéria orgânica, já que a quantidade de peróxido utilizada é bem baixa.

7. CONCLUSÃO

As diferenças encontradas pelos métodos de análise granulométrica geram resultados distintos, na maioria das vezes ligadas a pequenos detalhes do procedimento.

Quanto a análise de sedimentos grossos, o peneiramento é sem dúvida o método mais eficiente, desde que seja feito respeitando-se alguns detalhes. O tempo de peneiramento e a frequência da agitação são parâmetros determinantes da quantidade de grãos que passam pela malha, assim como a quantidade inicial utilizada. O peneiramento por via úmida se mostra adequado, já que a lavagem dos grãos evita que os agregados sejam quantificados com diâmetros superiores aos reais. A temperatura ideal das estufas a que os sedimentos são submetidos deverá não ser muito alta, pois o calor aumenta a coesão entre as partículas facilitando a formação dos agregados. A correta desagregação também é importante na prevenção de dados mascarados pela presença de agregados, no entanto deve-se atentar para que esse procedimento não altere a morfologia dos grãos, devendo ser efetuada com muito cuidado e com material adequado.

A quantidade de peneiras utilizadas, assim como o intervalo entre elas é responsável por parâmetros que determinam a distribuição dos grãos, tais como assimetria, curtose, grau de seleção. No caso de uma quantidade pequena de peneiras com intervalos também pequenos, as classes granulométricas detectadas são restritas, fazendo com que haja uma superestimação destas, já que grande quantidade de material é retido em uma peneira inadequada à sua granulometria.

Em relação à análise de frações finas, tanto a pipetagem quanto a análise a laser se mostram satisfatórias. Para a pipetagem, é de extrema importância que as coletas de material sejam feitas em profundidades e temperaturas adequadas à temperatura da solução. A floculação se mostra como um fator problemático na obtenção de resultados precisos, podendo ter seus efeitos amenizados através, primeiramente, da remoção dos sais solúveis e, em segundo lugar, a adição de defloculantes, desde que necessário, em quantidades adequadas e desde que sejam bem dissolvidos. Caso seja feita a separação das frações finas e grossas e a adição seja feita antes do fracionamento, o peso deverá ser descontado de ambas as análises. A queima da matéria orgânica também constitui em um fator crucial para

se evitar a floculação, já que sua presença é responsável pelo aumento da compactação dos sedimentos.

Quanto as análises a laser, além de eficientes, são rápidas e de fácil procedimento. Porém só devem ser aplicadas a sedimentos mais finos, já que os mais grossos podem causar o re-espalhamento dos raios. É importante que para essas análises sejam tomados todos os tratamentos prévios adequados, tais como remoção de sais solúveis, adição de dispersantes, pois a floculação também pode ocorrer nesse tipo de diagnóstico.

A necessidade de padronização dos métodos granulométricos é iminente, já que a diferença gerada entre os resultados pode influenciar na comparação destes em qualquer trabalho que envolva análise granulométrica.

BIBLIOGRAFIA

ALBINO, J. 1999 ***Morfodinâmica e processo de sedimentação atual das praias de Bicanca à Povoação, ES.*** Tese de doutoramento. Programa de Pos-Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP). 178p. Agosto, 1999. São Paulo – SP. Capítulo 4.

CARVER, R. E. 1971. ***Procedures in Sedimentary Petrology.*** Wiley-Interscience, p. 672.

CORRÊA, I.C.S., 2005. ***Aplicação do Diagrama de Pejrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó-PA.*** Pesquisas em Geociências, 32(2): 109-118

DIAS, J.A. 2004. ***A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos.*** Ed. preliminar. Algarve, 2004.

CILAS. 20___. ***Diffraction et Diffusion de Lumiere Theorie el Applications.*** Disponível em: <<http://www.cilas.com/>>. Acesso em 30/07/2009.

CILAS. 20___. ***Theory from the diffraction pattern to the distribution size.*** Disponível em: <<http://www.cilass.com/>>. Acesso em 30/07/09.

FLEMMING, B.W. 2000. ***A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams.*** Sedimentary Geology 202: 425 – 435.

FLEMMING, B. W. 2007. ***The influence of grains-size analysis methods and sediment mixing on curves shapes and textural parameters: Implications for sediment trends analysis.*** Sedimentary Geology 202 (2007), 425 – 435 p.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957. ***Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters.*** Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3-27.

FOLK, R. L., 1974. ***Petrology of sedimentary rocks.*** Hemphill Publishing Company, p. 190.

GUY, H. P. 1969. **Laboratory theory and methods for sediment analysis. Techniques of Water-Resources investigations of the United States Geological Survey.**

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R.; CARRILHO, J.C. 2004. **Mapa de Parâmetros Texturais de Sedimento de Fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR.** Boletim Paranaense de Geociências, n. 55, p. 77-82, 2004. Ed. UFPR.

LIMA, R.M.F.; LUZ, J.A.M. da. 2001 **Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes.** Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 2, Junho 2001 .

MOORE, C.H. 1989. **Develops in Sedimentology: Carbonate Diagenesis and Porosity.** Ed. 2. Amsterdam. Elsevier, 1997.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. 1995. **Biometry: the principles and practice of statiscs in biological research.** New York, W.H. Freeman, 1995.

SUGUIO, K. 1973. **Introdução à Sedimentologia.** USP, São Paulo, 316 pp.

TEIXEIRA, A. S. N. 1980 **Manual de sedimentologia.** Salvador. PETROBRAS/SEPES/DIVEN. Setor de ensino da Bahia. 194 p.

UNDERWOOD, A. J. 1997. **Experiments in ecology: Their logical design interpretation using analysis of variance.** Cambridge University Press. 8td+504 p.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Quadro comparativo das diferenças entre a preparação prévia das amostras.....	121
APÊNDICE 2 – Quadro comparativo das diferenças entre os processos de peneiramento das amostras	120
APÊNDICE 3 – Quadro comparativo das diferenças entre os processos de remoção da Matéria Orgânica das amostras para a análise da fração fina	119
APÊNDICE 4 – Quadro comparativo das diferenças entre os processos de Pipetagem	117
APÊNDICE 5 – Quadro comparativo das Diferenças entre os processos de análise a laser.....	116

LABORATÓRIO	I	II	III	IV	V	VI	VII
Ensaio realizados	P-PI-CaCO ₃	P-PI-CaCO ₃	P + Laser	P-PI-CaCO ₃	P-PI-CaCO ₃	Laser	P-PI-CaCO ₃
Quarteamento	Mecânico	Manual	Mecânico	Manual	Manual	Mecânico	Manual
Tempo em estufa (horas)	72	24 à 48	24 à 48	48 à 72	Variável	*	24 à 48
Temperatura da estufa	60 °C	60 °C	60 °C	58 °C à 60 °C	60 °C	*	< 50 °C
Elutriação		Contra corrente	Não	Não	Não	Não	Contra corrente
Remoção de sais solúveis	Sim	Não	Não	Sim	Lavagem (H ₂ O destilada)	Não	Não
Controle de temperatura do laboratório	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não

APÊNDICE 1: Quadro comparativo das diferenças entre a preparação prévia das amostras (NOTA: P = peneiramento, PI = pipetagem, CaCO₃ = teor de carbonato de cálcio, * Não foram realizados tais procedimentos)

LABORATÓRIOS	I	II	III	IV	V	VI	VII
Quantidade inicial de amostra	Quantidade retida na malha	50 à 100 g	200 + - 1 g	60 à 80 g	40 g	*	Quantidade retida na malha
Tipo de peneiramento	Seco	Seco	Úmido	Seco	Seco	*	Seco
Remoção de carbonatos	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não
Remoção de MO	Sim	Para teores > 5%	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Tempo no rot up (seco)	15'	10'	*	20'	10'	*	10'
Quantidade de solução (úmido)	*	*	500 ml	*	*	*	*
Tempo das peneiras na estufa (úmido)	*	*	15 horas	48 à 72 horas	*	*	*
Temperatura da estufa	60 °C	60 °C	70 °C	58 °C à 60 °C	*	*	*
Frações utilizadas	>0,062 mm	> 0,062 mm	> 0,062 mm	> 0,062 mm	> 0,062 mm	*	> 0,062 mm
Número de peneiras	12	11	4	13	31	100	12
Intervalo entre peneiras/variação (Φ)	-1,5 à 4 (1/2 Φ)	-2 à 3 (1/2 Φ)	-1,2 à 2,5 (1 Φ)	-2 à 4 (1/2 Φ)	-1 à 5 (1/4 Φ)	*	-1.5 à 4 (1/2 Φ)
Escala	Wentworth (1922)	Wentworth (1922)	Tyler	Wentworth (1922)	Phi de Krumbein (1934)	Wentworth (1922)	Wentworth (1922)

APÊNDICE 2: Quadro comparativo das diferenças entre os processos de peneiramento das amostras (NOTA: * Não foram realizados tais procedimentos)

LABORATÓRIO	I	II	III	IV	V	VI	VII
Reagente	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂	*	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂
Concentração do reagente		30%	*	10%	30 e 100%	10%	30%
Quantidade de reagente	200 ml	5 à 20 ml	*	Até cessar a reação	Até cessar a reação	Até cessar a reação	150 ml
Manta aquecedora	Não	Sim	*	Sim	Sim	Sim	Não
Temperatura da manta	*	50 à 80 °C	*	70 °C	90 °C	50 °C	*
Tempo na manta	*	Até cessar a reação	*	Até cessar a reação	Até cessar a reação	Até cessar a reação	*
Remoção do reagente	H ₂ O destilada	H ₂ O morna	*	H ₂ O destilada	H ₂ O destilada	H ₂ O Mineral	*
Tempo/Vezes de Remoção	Até cessar a reação	3 vezes	*	72 horas	72 horas	3 vezes	*
Temperatura da estufa	<60 °C	60 °C	*	40 °C	45 °C	50 °C	45 °C
Capela	Sim	Não	*	Sim	Sim	Sim	Sim

APÊNDICE 3: Quadro comparativo das diferenças entre os processos de remoção da Matéria Orgânica das amostras para a análise da fração fina (NOTA: * Não foram realizados tais procedimentos)

LABORATÓRIOS	I	II	III	IV	V	VI	VII
Separação dos finos	Peneiramento úmido	Não	*	Peneiramento úmido	Peneiramento úmido	*	Peneiramento úmido
Frações utilizadas	< 0,062 mm	Todas	*	< 0,062 mm	< 0,062 mm	*	< 0,062 mm
Quantidade de amostra	Material que passou pela peneira de 0,062	100 g	*	Material que passou pela peneira de 0,062	10 g	*	Material que passou pela peneira de 0,062
Antifloculante	Na ₄ P ₂ O ₇	K ₂ H ₂ P ₂ O ₇	*	Na ₂ SiO ₃	Na ₁₆ P ₁₄ O ₄₃	*	Na ₄ P ₂ O ₇
Peso do defloculante	0,65 g	0,5 g	*	1 g	5 g	*	Máximo 2g
Tempo de agitação da solução antifloculante	1'	5'	*	*	1'	*	10'
Quantidade de solução	1000 ml	500 ml	*	1000 ml	1000 ml	*	1000 ml
Quantidade de material recolhido	20 ml	20 ml	*	20 ml	50 ml	*	20 ml

APÊNDICE 4: Quadro comparativo das diferenças entre os processos de Pipetagem (NOTA: * Não foram realizados tais procedimentos)

LABORATÓRIOS	III	VI
Remoção de carbonatos e matéria orgânica	Não	Sim
Fração utilizada	< 0,062 mm	Toda a amostra
Análise de branco (padrão)	Sim	Não
Concentração de amostra	120 à 170 mg/l	Varia de acordo com o material
Tempo de leitura	60"	10'
Solvente	H2O destilada	Hexametafosfato de Sódio
Unidade de dispersão	Não é utilizado dispersante	Hidro G
Número de classes (peneiras)	100	100
Número de lavagens após a análise	3	3
Marca do equipamento	CILAS 1064	Mastersizer 2000 (Malvern Instruments)

APÊNDICE 5: Quadro comparativo das Diferenças entre os processos de análise a laser