



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
Curso de Engenharia Ambiental

José Wagner Alves Garrido

**TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE FUNDO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ PIRANHAS AÇU**

Pombal - PB
2013

José Wagner Alves Garrido

**TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE FUNDO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ PIRANHAS AÇU**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz

Pombal - PB

2013

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial de Pombal - UFCG/CCTA
Bibliotecária-Documentalista: Jacqueline de Castro Rimá – CRB 15/507

G241a Garrido, José Wagner Alves.

Transporte de sedimentos em suspensão e de fundo
na bacia hidrográfica do Rio Piranhas / José Wagner Alves
Garrido. – Pombal: UFCG, 2013.

89f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz
Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) –
UFCG/CCTA/UACTA.

1. Hidrossedimentologia. 2. Sedimentos em suspensão.
3 Hidrologia. 4. Bacia Hidrográfica – Rio Piranhas. I. Queiroz,
Manoel Moisés Ferreira de. II. Título.

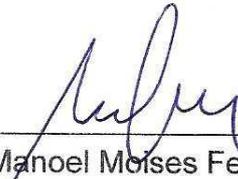
UFPB/CCHSA/BS

CDU 556(813.3)(043)

José Wagner Alves Garrido

**TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E DE FUNDO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ PIRANHAS AÇU**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.



Orientador - Prof. Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA - UACTA)



Examinador interno - Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA - UACTA)



Examinador externo – Prof. Dr. Antonio Amador de Sousa
(Universidade Federal de Campina Grande – CSTR - UAEF)

Pombal - PB, 26 de junho de 2013

Dedico aos meus pais Maria Cássia e José Trajano e aos meus irmãos Hildegardo, Hilder Wagner, João Paulo, Hildeglábia e Hilder Cássio pelo amor, confiança, apoio e paciência.

AGRADECIMENTOS

Ao SENHOR JESUS CRISTO, que é o caminho, a verdade e a vida, por ser o meu rochedo, o meu lugar forte, o meu libertador, o meu Deus, a minha fortaleza, a quem confio, o meu escudo, a força da minha salvação, o meu alto refúgio e que onde eu colocar as plantas dos meus pés Ele estará comigo.

À Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar - CCTA, por essa oportunidade.

Ao Professor Dr. Manoel Moises Ferreira de Queiroz, exemplo de superação, competência, amizade e pela sua orientação.

Aos amigos Ricardo Riccelli, Thâmara Sousa e Paloma Ferreira pela ajuda nos trabalhos de campo e análises no laboratório.

À todos que fazem os Laboratórios de Hidrologia, de Análise de Águas e de Química do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar.

À Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental – ao Professor Camilo Farias, Paulo Xavier Pamplona e Everton Ferreira, pelos momentos de ajuda quando precisei.

Aos professores da Unidade Acadêmica de Ciência e Tecnologia Ambiental – UACTA/CCTA/UFCG - Campus de Pombal pelos conhecimentos transmitidos.

Aos meus colegas de classe, pela rica troca de experiências.

Aos bibliotecários, pela ajuda incondicional.

Ao setor de transporte, pela disponibilidade dos transportes e dos motoristas.

Aos amigos de casa - Wiaslan Martins, Emmanuel Moreira, Marlon, Hamurabi Lins e Clementino Lins, pela companhia, paciência e compreensão durante esses cinco anos de batalhas juntos.

À minha namorada Samilly Vieira pela inestimável paciência, pela ajuda e companheirismo nesta jornada.

Por fim, a todos que, de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Com o intenso desenvolvimento das atividades humanas nos solos em busca de suprir suas necessidades, têm-se acelerado os processos de erosão, aumentando a produção, o transporte e deposição de sedimentos nos ambientes hídricos. O referente trabalho teve como objetivo realizar um estudo do transporte de sedimentos em suspensão e de fundo, na bacia hidrográfica do Rio Piancó Piranhas Açu. O estudo foi realizado na sub-bacia hidrográfica do Rio Piranhas, na secção de controle próximo a ponte sobre o Rio Piranhas, na BR-230, distante 5 km da cidade de Pombal - PB, nas coordenadas 6°43'43"S e 37°47'40"W. Foram realizadas 15 campanhas de medições hidrossedimentométricas, no período de novembro/2012 a maio/2013, envolvendo as medições de concentração de sedimentos em suspensão, descargas (líquida, sólida em suspensão, sólida em suspensão não medida e sólida total em suspensão) e dos parâmetros cota do rio, largura do topo, velocidade média da água e profundidade média. Para as determinações destes parâmetros foi utilizado Perfilador Acústico Doppler – ADCP, enquanto que para a análise da concentração e granulometria de sedimentos em suspensão, foram utilizados os métodos de tubo retirada pela base e da curva de Oden. Para avaliação do material do leito utilizou-se a análise granulométrica por peneiramento para identificar a distribuição do tamanho das partículas. Os valores da concentração de sedimentos em suspensão variaram entre 2,53 mg L⁻¹ e 161,99 mg L⁻¹, tendo um valor médio de 46,59 mg L⁻¹ com desvio padrão de 43,93 mg L⁻¹ para uma vazão média de 12,87 m³ s⁻¹. Além disso, foram plotadas curvas chaves de sedimentos em suspensão, para os períodos seco e chuvoso, as quais apresentaram bons coeficiente de determinação. Verificou-se que o tipo material em suspensão que está sendo carregado no Rio Piranhas é constituído de silte e argila, enquanto no leito é de pedregulho e areia fina.

Palavras-chave: Hidrossedimentometria. Curva de Oden. Método de Colby.

ABSTRACT

With the intense development of human activities on soil in search to supply their needs, has accelerated erosion processes, increasing production, the transport and deposition of sediments in the environments hydric. The referent work had as objective conduct a study of transport of suspended sediment and fund in river hydrographic basin Piancó Piranhas Acu. The study was conducted the sub-basin hydrographic river Piranhas, in section control next the bridge about the Piranhas river, in BR-230, distant 5 km the city of Pombal-PB, at coordinates 6°43'32''S e 37°49,54''W. Were performed 15 measurement campaigns hydrosedimentometrics, the period November/2012 to may/2013, involving the measurements the concentration suspended sediment, liquid discharges, solid in suspension, not as solid in suspension and total suspended solid and the parameters quota river, width of the top, mean velocity of the water and depth average. The determination of flow was taken using a Acoustic profiler Corrent Doppler – ADCP, while that for the analysis on concentration and granulometry suspended sediments were utilized the methods tube withdrawal by the base and curve Oden, respectively. For evaluation the material of the bed has used to granulometric analysis by sieving to identify the distribution of size of the particles. The values the concentration sediment in suspension varied between 2,53 mg L⁻¹ and 161,99 mg L⁻¹, with a average value of 46,59 mg L⁻¹ with standard deviation of 43,93 mg L⁻¹ for an average flow of 12,87 m³ s⁻¹. Besides, were plotted curves keys suspended sediments, for the periods dry and rainy, what presented good coefficient of determination. It was verified the type suspended material that is adduced in Piranhas River consists of silt and clay, while in the bed is boulder and fine sand.

KEYWORDS: Hydrosedimentometrics. Oden Curve. Colby Method.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Objetivos	10
1.1.1. <i>Geral</i>	10
1.1.2. <i>Específicos</i>	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Bacia Hidrográfica.....	11
2.1.2. <i>Importância como unidade de planejamento e controle</i>	11
2.2. Bacia Hidrográfica do Rio Piancó Piranhas Açú	12
2.3. Processos do Ciclo Hidrossedimentológico	14
2.4. Importância do Estudo de Sedimento	18
2.5. Efeitos dos Sedimentos ao Meio Ambiente	19
2.5.1. <i>Efeitos negativos trazidos pelos sedimentos</i>	19
2.5.2. <i>Efeitos benéficos trazidos pelos sedimentos</i>	19
2.6. Controle de Sedimentos na Bacia Hidrográfica	20
2.7. Métodos de amostragem de sedimentos em suspensão	22
2.7.1. <i>Amostragem por igual incremento de largura - ILL</i>	22
2.8. Utilização do Medidor Doppler Acústico de Vazão - ADCP	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1. Área de Estudo	27
3.2. Medições na Secção de Controle	28
3.2.1. <i>Determinação da descarga líquida</i>	29
3.2.2. <i>Amostragem de sedimentos em suspensão</i>	30
3.2.3. <i>Amostragem de sedimentos de fundo</i>	31
3.3. Análises em Laboratório.....	32
3.3.1. <i>Análise de sedimentos em suspensão</i>	32
3.3.1.1. <u>Determinação da concentração de sedimentos em suspensão</u>	32
3.3.1.2. <u>Determinação da granulometria dos sedimentos em suspensão</u>	33
3.3.1.3. <u>Determinação da descarga sólida em suspensão</u>	34
3.3.1.3.1. <i>Determinação da descarga sólida total</i>	35
3.3.2. <i>Análise da granulometria de sedimentos de fundo</i>	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Material Sólido em Suspensão.....	38
4.1.1. <i>Concentração de sedimentos em suspensão</i>	38
4.1.2. <i>Granulometria de sedimentos em suspensão</i>	41
4.1.3. <i>Descarga sólida total de sedimentos em suspensão</i>	42
4.2. Material Sólido de Fundo.....	45
4.2.1. <i>Granulometria dos sedimentos de fundo</i>	45
4.3. Relação Granulométrica do Material Sólido em Suspensão e do Leito	47
5. CONCLUSÃO	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICES	54
ANEXOS	85

1. INTRODUÇÃO

As ocupações desordenadas das bacias de drenagem, as remoções da cobertura vegetal, além do limite previsto em lei, expondo o solo, mudanças nas características das precipitações e escoamento, ocorrência de chuvas mais concentradas e intensas, entre outras condições, têm-se tornado as causas do aumento de aporte de sedimento nos ambientes hídricos.

Nesse contexto, a importância do estudo do transporte de sedimento em rios se faz necessário com relação à poluição da água, navegabilidade do canal do rio, assoreamento de reservatórios, vida útil dos equipamentos de hidroelétricas, habitat dos peixes e outras vidas aquáticas.

É importante ter o entendimento do mecanismo de transporte e a correta avaliação da carga de sedimentos em suspensão presente em rios. São fatores de grande importância para a caracterização de bacias hidrográficas e para o diagnóstico e a prevenção de problemas associados à deposição de sedimentos ao longo do curso do rio.

A produção de sedimento é a carga de sedimentos normalizada para a área da rede de drenagem e é o resultado dos processos de erosão e deposição que ocorrem dentro de uma bacia hidrográfica. Assim, a produção de sedimentos é controlada por fatores que controlam a erosão e o aporte de sedimento dentro da bacia, incluindo a topografia local, as propriedades do solo, cobertura vegetal, características de drenagem e o uso da terra.

A Agência Nacional das Águas – ANA, realiza medições de sedimento uma ou duas vezes, no máximo, durante o ano, em períodos bem distintos e muitas vezes não coincidentes com o período chuvoso. Assim, há necessidades de investigar, de forma mais consistente, como se dá o aporte de sedimentos durante o período chuvoso e estabelecer procedimentos mais apropriados de determinação da carga e transporte de sedimento em rios de regime intermitentes, como é o caso em estudo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Geral

O presente trabalho teve como objetivo geral realizar um estudo do transporte de sedimentos em suspensão e de fundo na bacia hidrográfica do rio Piancó Piranhas Açu, definida a partir da seção de controle junto a ponte sobre a BR-230, próximo à cidade de Pombal - PB.

1.1.2. Específicos

- Determinar a vazão do rio e realizar a leitura do nível de água do mesmo, em cada medição;
- Determinar a concentração e granulometria de sedimentos em suspensão;
- Determinar a descarga sólida medida e não medida de sedimentos em suspensão;
- Determinar a descarga sólida total de sedimentos em suspensão;
- Relacionar a concentração de sedimentos e a descarga sólida de sedimentos em suspensão com a descarga líquida;
- Construir as curvas de Oden para determinação da granulometria de sedimentos em suspensão;
- Determinar a granulometria e caracterização de sedimentos de fundo;
- Relacionar o material sólido em suspensão com o de fundo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Bacia Hidrográfica

2.1.1. Definição

O termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Esse compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes (Figura 1).

Figura 1 - Ilustração de uma bacia hidrográfica mostrando os divisores de água, as sub-bacias e a drenagem principal



Fonte: SEMA, 2013

A bacia hidrográfica é também denominada de uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, compõe-se de um sistema de rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci, 1997).

2.1.2. Importância como unidade de planejamento e controle

A necessidade do planejamento e políticas públicas para a gestão ambiental precisa de apoio técnico – científico e este possui maior relevância quando trabalhos são realizados na unidade de bacias hidrográficas. O planejamento ambiental em bacias hidrográficas vem se constituindo nos últimos anos o caminho mais propício para o desenvolvimento de pesquisas e implementação de ações que visem reverter quadros de degradação ambiental (MACHADO; STIPP, 2003).

A bacia hidrográfica pode ser considerada como a unidade em que a descrição do ciclo hidrológico pode ser integrada, sendo que os efeitos das mudanças no uso do solo passam a ser mais reais e tornam as avaliações dos impactos mais eficientes. Na questão terminológica, as sub-bacias de forma geral

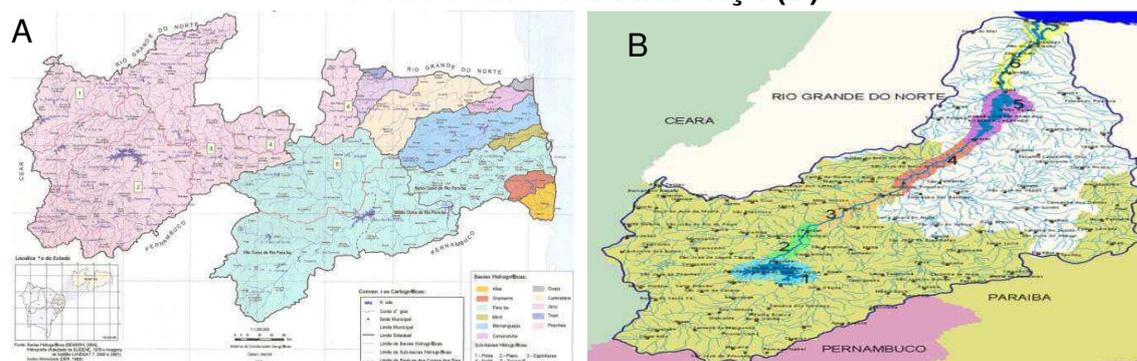
são consideradas áreas de drenagem dos tributários do curso de água principal, e as microbacias são áreas formadoras das sub-bacias. Muitos autores acham subjetivo o termo microbacia e englobam-na no conceito de sub-bacia, contudo, outros definem esses conceitos diferentemente (TEODORO et al., 2007).

No entanto, é importante não considerar apenas o tamanho da área das bacias hidrográficas, e sim a dinâmica e magnitude em que os processos hidrossedimentológicos ocorrem (BARROS, 2012).

2.2. Bacia Hidrográfica do Rio Piancó Piranhas Açú

A Bacia Hidrográfica do Rio Piancó Piranhas Açú (Figura 2B) situa-se na zona semiárida do Nordeste brasileiro, e está inserida em território dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. É composta por sete sub-bacias: Piancó, Peixe, Alto Piranhas, Médio-Piranhas, Espinharas, Seridó e Baixo Piranhas (Figura 2A). As três primeiras estão totalmente inseridas em território paraibano, a sub-bacia do Baixo Piranhas situa-se totalmente no Estado do Rio Grande do Norte e as demais estão compreendidas nos dois estados.

Figura 2 - Bacias hidrográficas do estado da Paraíba (A) e bacia hidrográfica do Rio Piancó Piranhas Açú (B)



Fonte: AESA, 2013

O principal rio da bacia é o rio Piancó Piranhas Açú, de domínio federal, uma vez que nasce no município de Santa Inez, no estado da Paraíba, e segue seu curso natural pelo estado do Rio Grande do Norte, desaguando no Oceano Atlântico, na Costa Potiguar. Como a maioria absoluta dos rios do semiárido nordestino, à exceção do rio São Francisco e do Parnaíba, é um rio intermitente em condições naturais. A perenidade de seu fluxo é assegurada por dois reservatórios de regularização construídos pelo DNOCS: O Coremas – Mãe d'Água, na Paraíba, com

capacidade de 1,360 bilhões de m³ e vazão regularizada (Q 95%) de 9,5 m³/s e a barragem Armando Ribeiro Gonçalves (ARG), no Rio Grande do Norte, com 2,400 bilhões de m³ e vazão regularizada de 17,8m³/s (Q 90%) (CBHRPPA, 2013).

Ao longo do sistema hídrico formado pela calha do rio e seus reservatórios de regularização, denominado Sistema Curema-Açu, desenvolvem-se diversos usos como irrigação difusa, irrigação em perímetros públicos, abastecimento humano, dessedentação animal, lazer, produção energética e aqüicultura.

A bacia hidrográfica do rio Piancó Piranhas Açu abrange um território de 42.900 km² distribuído entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, onde vivem aproximadamente 1.552.000 mil habitantes. A bacia está totalmente inserida em território semiárido, com precipitações médias variando entre 400 e 800 mm anuais concentradas entre os meses de fevereiro e maio (CBHRPPA, 2013).

A formação geológica da maior parte da bacia é cristalina, isto é, formada por rochas impermeáveis com baixa capacidade de armazenamento de água, a qual frequentemente é de baixa qualidade (CBHRPPA, 2013)..

Os regimes hidrológicos desses rios sofrem fortes influências das condições climáticas do semiárido. Notadamente, no curto período chuvoso, ocorrido anualmente, onde as variações de vazões, da qualidade da água e da quantidade de sedimentos são decorrentes dos volumes de água superficiais, associadas às formas de uso do solo, às características fisiográficas das bacias e ao tipo de cobertura vegetal predominante da caatinga (CBHRPPA, 2013).

O aporte de sedimentos nessas bacias fica condicionado ao período chuvoso, com características bem peculiares às condições do semiárido, em que no início das chuvas a caatinga encontra-se sem folhagem, deixando o solo exposto à ação de erosão da chuva.

A cobertura vegetal predominante na Bacia é a caatinga hiperxerófila herbáceo-arbustiva. Na parte sul da Bacia, nas proximidades do município de Monte Horebe-PB, em pontos de altitude mais elevada, ocorre a caatinga hipoxerófila, de porte arbóreo. As espécies mais comuns são: catingueira, baraúna, faveleira, jurema, marmeleiro, pereiro, juazeiro, e cactáceas (xiquexique, mandacaru, facheiro). Nas margens dos rios é comum a ocorrência de caraibeira e oiticica. Já nos aluviões é bastante comum a ocorrência de carnaubeiras que, nas várzeas do Baixo-Açu, chega a formar cocais atualmente ameaçados pela expansão da agricultura irrigada (CBHRPPA, 2013).

A cobertura vegetal da bacia em sua maior parte se encontra bastante antropizada em decorrência da abertura de áreas para exploração agrícola e principalmente pela exploração de lenha como fonte energética para olarias, panificadoras e uso doméstico. Além da perda de biodiversidade, a remoção da vegetação sem critérios de manejo, expõe o solo à ação erosiva das chuvas provocando o transporte de partículas para os corpos hídricos e causando o gradual assoreamento dos reservatórios da região (CBHRPPA, 2013).

2.3. Processos do Ciclo Hidrossedimentológico

Na literatura encontram-se estudos que apresentam os principais fenômenos que compõem o ciclo hidrológico (precipitação, evaporação, infiltração, etc). Há também a identificação dos processos que regem o deslocamento de partículas sólidas, que em conjunto constituem o ciclo hidrossedimentológico. Esses processos são definidos como: desagregação, erosão, transporte, sedimentação, depósito e consolidação (TUCCI, 2007), conforme apresenta a seguir:

a) Desagregação

- A desagregação é o desprendimento de partículas sólidas do meio do qual fazem parte; ela pode se dar sob forma de reações químicas, ações mecânicas ou outros fatores naturais que não envolvem diretamente o ciclo hidrológico. Mas o impacto das gotas de chuva sobre o solo é o processo que após a ação do homem, mais contribui para a desagregação (MARCONDES, 2011).

O termo sedimento se refere a uma partícula depositada ou em movimento, derivada da fragmentação das rochas, por processo físico ou químico, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição; é o material sólido em suspensão ou depositado no leito - sedimentos de fundo (Carvalho, 2008, p. 3).

- O tipo de material sólido decorrente desses processos é composto de elementos de vários tamanhos, conforme apresentados na Tabela 1;

Tabela 1 – Distribuição do tamanho dos diâmetros dos materiais desagregados

Material	Diâmetro
Argila	< 0,002 mm
Silte	0,002 - 0,060 mm
Areia	0,060 - 2 mm
Cascalho	2 mm - 60 mm
Seixo	60 mm - 200 mm
Pedras / pedregulho / matacão	> 200 mm

Fonte: Tucci, 2007

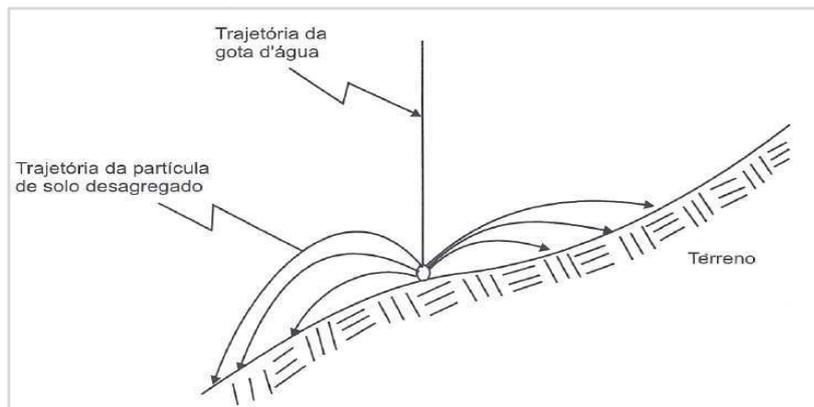
- Além da distribuição do tamanho das partículas, os sedimentos também são classificados como coesivos e não coesivos. Segundo Berlamont et all (1993), os sedimentos coesivos são uma mistura de argila, silte, areia e matéria orgânica, nos quais as forças que atuam sobre essas partículas são significantes e fazem com que crie uma atração entre uma partícula e a outra, e com essa atração elas se prendem umas as outras.
- Os sedimentos não coesivos (as areias) são aquelas nos quais as forças de atração que prendem as partículas umas nas outras não são significantes, pois não criam uma atração entre as partículas.

b) Erosão

- Processo de deslocamento das partículas sólidas de seu ponto de origem na superfície do solo ou das paredes dos leitos dos córregos e rios, sob efeito do escoamento (MARCONDES, 2011);
- Corresponde à separação e remoção da partícula da rocha e do solo pela ação da água, do vento ou por outro efeito. O sedimento fluvial é um termo que significa uma quantidade de partículas minerais transportadas ou depositadas pela ação do escoamento das águas. O sedimento eólico é aquele que se move ou se deposita pela ação do vento (CARVALHO, 2008);
- No meio natural, o destaque da partícula no processo de erosão ocorre através da energia de impacto da gota de chuva no solo e pelas forças geradas devido a ação do escoamento das águas. As gotas de chuva

caindo em terrenos inclinados desagregam as partículas, provocam o deslocamento e lavam o solo, removendo a camada superficial (Figura 3).

Figura 3 – Erosão de partículas de solo provocada pelo impacto de gotas de chuva



Fonte: Carvalho, 2008

c) Transporte

- Os sedimentos que chegam aos cursos d'água têm diferentes granulometrias, como por exemplo as partículas apresentados na Tabela 1, as quais sofrerão um processo de transporte variado de acordo com as condições locais do escoamento. As forças que atuarão sobre a partícula podem mantê-la em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito (VANONI apud CARVALHO, 2008, p. 74). A definição mais conhecida das formas de transporte são (SUBCOMMITTEE apud CARVALHO, 2008, p. 74):
 - Carga sólida de arraste: partículas que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água. As partículas estão em contato com o leito praticamente todo o tempo;
 - Carga sólida saltante: partículas que saltam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas;
 - Carga sólida em suspensão: partículas que estão suportadas pelas componentes verticais da velocidade, enquanto são transportadas pelas componentes horizontais destas velocidades, sendo pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão, subindo e

- descendo na corrente acima do leito. O movimento da partícula em suspensão é mais complexo do que a do leito.

d) Decantação

- Processo no qual as partículas mais finas transportadas em suspensão (geralmente argila e silte), tendem a restabelecer contato com o fundo do leito sob ação da gravidade. Neste processo verifica-se a resistência do meio fluido em que está envolto, que as impede ou freia sua queda para o fundo, sobretudo por efeito da turbulência (MARCONDES, 2011).

e) Depósito

- Entende-se por depósito a parada total das partículas em suspensão recém decantadas sobre o fundo, ou daquela transportada por arraste. Embora por algumas vezes confundida com a sedimentação, esta se difere, pois uma partícula recém decantada pode continuar movimentando-se após entrar em contato com o fundo, de acordo com as forças hidrodinâmicas existentes, restando ao fundo.

f) Consolidação

- A consolidação é formada após depósito das partículas. Designa o acúmulo de partículas sobre o fundo e a compactação do depósito resultante sob efeito do próprio peso dos sedimentos (MARCONDES, 2011);
- A erosão e o depósito são os processos que mais se sobressaem pela maior importância de suas ocorrências e por seu papel-chave na redistribuição dos sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2007);
- A trajetória de partículas sólidas ao longo do ciclo hidrossedimentológico é ilustrada na Figura 4.

Figura 4 - Trajetória de partículas sólidas ao longo do ciclo hidrossedimentológico



Fonte: Marcondes, 2011

2.4. Importância do Estudo de Sedimento

O estudo de sedimento tornou-se de grande importância para a engenharia, a fim de identificar os problemas relativos a estas partículas que são transportadas por fluídos, carregadas do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição. Seu estudo é de vital interesse na conservação, desenvolvimento e utilização dos solos e recursos hídricos (BRITO et al, 2009).

Os processos sedimentológicos que ocorrem na natureza têm sido acelerados e intensificados pela atividade humana, destacando-se o uso inadequado do solo, o desmatamento, a urbanização, atividade agropecuária e alteração dos cursos dos rios (BRITO et al, 2009).

Esse estudo tem ajudado também na solução de problemas como assoreamento de reservatórios, mudança da seção do rio, diminuição da qualidade da água. Para tanto, se torna indispensável a coleta dos dados de campo. Conforme Paiva et al (2001), “o conhecimento do aporte de sedimentos em bacias hidrográficas é extremamente importante no planejamento e gestão dos recursos hídricos”. Tais informações são fundamentais no dimensionamento e operação de obras hidráulicas, interferindo decisivamente nos custos de implantação e manutenção de tais sistemas.

2.5. Efeitos dos Sedimentos ao Meio Ambiente

Todos os aspectos referentes a sedimentos, em todas as fases, de desagregação, erosão, transporte, sedimentação, depósito e consolidação, geram efeitos positivos e negativos sobre o ambiente.

2.5.1. Efeitos negativos trazidos pelos sedimentos

Segundo Lima et all (2003) e Carvalho (2008), os principais efeitos negativos da presença dos sedimentos no corpo d'água são:

- a) Os sólidos em suspensão afetam desfavoravelmente os peixes, pois:
 - Atuam diretamente sobre os mesmos provocando a redução de sua taxa de crescimento e resistência às moléstias, bem como causando sua mortalidade;
 - Impedem o desenvolvimento de ovos e larvas;
 - Modificam os movimentos migratórios naturais;
 - Reduzem a abundância de alimento disponível;
 - Diminuem a ictiofauna.
- b) Os materiais suspensos aumentam a turbidez, reduzindo a penetração de luz na água, diminuindo a profundidade da zona fotossintética e prejudicando, assim, a cadeia primária e os alimentos para os peixes;
- c) Diminui ou paralisa, temporária ou permanentemente, o crescimento das plantas quando se deposita em terras produtivas, devido à obstrução dos poros ou vazios do solo;
- d) O aumento da turbidez na água reduz a qualidade estética do curso d'água;
- e) Atua como portador de outros poluentes, tais como nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas e metais pesados.

2.5.2. Efeitos benéficos trazidos pelos sedimentos

O homem transforma os sedimentos que remove em outros materiais de uso benéfico, como é o caso da obtenção da cal, cimento, ferro, ouro e todo o trabalho

de minério ou mineração. Também há a preparação de tijolos, telhas e artefatos de barro (CARVALHO, 2008).

Podem-se citar outros benefícios derivados do sedimento:

- a) O sedimento em suspensão reduz a ação erosiva da água no escoamento de rios;
- b) Atua como redutor de outros poluentes, melhorando desta forma a purificação da água;
- c) Permite que seja um meio no qual as reações químicas podem ocorrer;
- d) Permite que seja um meio condutor de microorganismos ou matéria orgânica diversa que melhora a fauna fluvial;
- e) Os depósitos formados nos campos podem constituir camada superior de solo devido à deposição em ocasião de enchentes, sendo benéficos se a camada depositada tiver nutrientes;
- f) Sedimentos com material fértil natural podem ser recuperados e colocados para uso benéfico em jardins, canteiros e outras pequenas áreas de plantação;
- g) Sedimentos de granulometria adequada, incluindo pedras e matacões, são usados em construções, argilas são usadas como impermeabilizantes, as areias como filtros, pedregulhos em massa de concreto e pedras como enrocamento na construção de barragens, silte, areia e pedregulho são usados no concreto e argamassas para construção em geral;
- h) Sedimentos podem ser usados em aterros para terraplanagem.

2.6. Controle de Sedimentos na Bacia Hidrográfica

De acordo com Vanoni apud Carvalho, 2008 a proteção da bacia hidrográfica é ponto fundamental no uso adequado de suas potencialidades, isso inclui gerenciamento e desenvolvimento da mesma e se baseia nas seguintes proposições:

- a) Aproveitar cada pedaço de terra da bacia dentro de sua capacidade para uso sustentado, sem deterioração dos recursos de solo inerentes;

- b) Aplicar práticas vegetativas e de manutenção mecânica em cada pedaço de terra como uma necessidade de prevenção da deterioração do solo e para obter um ótimo gerenciamento do solo, água e vegetação;
- c) Desenvolver o uso dos recursos hídricos para o alcance adequado a satisfazer no presente e no futuro previsível as necessidades de abastecimento municipal e industrial, irrigação, drenagem, melhorando a vida aquática e animal, recreação, gerenciamento da qualidade d'água e fins relativos;
- d) Melhorar e gerenciar a cobertura vegetal com árvores e pastos, para madeiramento e produção de alimentos no campo, tão bem quanto à proteção da bacia, onde tal cobertura representa um ótimo uso da terra;
- e) Desenvolver a mais efetiva combinação econômica de práticas vegetativas e manutenção mecânica da terra para influência benéfica do efeito da precipitação onde atinge a terra; e medidas estruturais, isto é, reservatórios e manutenção de canais para controle de movimento do escoamento superficial;
- f) Alcançar um equilíbrio no gerenciamento da água, da área de drenagem e a bacia hidrográfica. Os objetivos primários de programas de proteção, em termos abrangentes são: preservação e uso benéfico dos recursos de solo e água, redução da erosão, inundação e danos dos sedimentos.

A proteção da bacia hidrográfica está intimamente ligada ao uso coerente dos recursos hídricos e de solo em toda bacia. O gerenciamento de bacias hidrográficas a ser executado por entidades do governo é fundamental no aproveitamento dos referidos recursos.

A implantação de programas de aproveitamento dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica gera modificações no meio ambiente, às vezes intensa e mesmo irreversíveis, podendo causar problemas futuros que dificultem o próprio desenvolvimento regional. Isso tem ocorrido e servido de exemplo para que se procure previamente efetuar estudos cuidadosos sobre impactos ambientais.

2.7. Métodos de amostragem de sedimentos em suspensão

Os métodos ou técnicas de amostragem são: pontual instantâneo, pontual por integração e integração na vertical ou em profundidade. (CARVALHO et all, 2000).

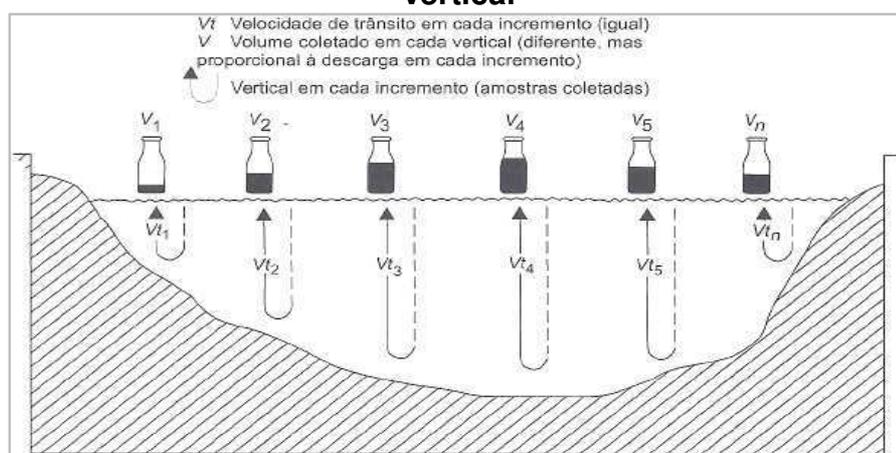
A amostragem pontual instantânea é aquela quando a admissão da amostra no recipiente é feita instantaneamente ou em pouquíssimos segundos. A amostragem pontual por integração quando a admissão é feita em maior tempo, geralmente mais que 10 segundos.

As amostragens pontual por integração e por integração na vertical nos dois sentidos são as mais adequadas por apresentarem média de valores mais representativa (CARVALHO, 2008).

2.7.1. Amostragem por igual incremento de largura - IIL

É o método mais utilizado para amostragem da mistura água-sedimento, devido a sua simplicidade. Neste método a seção transversal é dividida numa série de segmentos de igual largura, para obtenção de uma série de subamostras, sendo a velocidade de trânsito em cada vertical a mesma usada nas outras verticais, utilizando o mesmo bico no amostrador, sendo estas subamostras, portanto, compostas de volumes diferentes (Figura 5).

Figura 5 – Amostragem pelo método de igual velocidade de trânsito em cada vertical



Fonte: Edwards e Glysson citado por Carvalho, 2008

Para a operação de campo e obtenção adequada das diversas amostras, em primeiro lugar, é feita a medida da descarga líquida com verticais escolhidas

igualmente espaçadas para se ter as velocidades médias da corrente para o cálculo dos tempos de amostragem, sendo conveniente que as verticais sejam escolhidas em iguais distâncias em número ímpar de verticais; em seguida, dividir a seção transversal em $n+1$ segmentos iguais para obter n verticais; posteriormente, programam-se as verticais escolhidas para amostragem e procura-se entre elas a vertical que apresente a maior velocidade média, se a seção for regular, ou o maior produto entre velocidade média e profundidade, se a seção for irregular. Nessa vertical, obtém-se a primeira amostra, adotando os procedimentos com o cálculo do tempo mínimo de amostragem conforme equações (1 e 2).

Segundo estudos em laboratório, os bicos dos amostradores são padronizados em três diâmetros (1/8", 3/16" e 1/4"), apresentando diferentes constantes de proporcionalidade, conforme as seguintes relações:

Bico de 1/8":

$$t_{min} = \frac{2.p}{v_t} = \frac{2.p}{0,2.v_m} \quad (1)$$

Bico de 3/16" e 1/4":

$$t_{min} = \frac{2.p}{v_t} = \frac{2.p}{0,4.v_m} \quad (2)$$

Em que,

Para o bico de 1/8":

$$v_t = 0,2.v_m \quad (3)$$

Para o bico de 3/16" e 1/4":

$$v_t = 0,4.v_m \quad (4)$$

v_t a velocidade máxima de trânsito ou de percurso do amostrador e v_m a velocidade média da corrente de fluxo na vertical de amostragem.

O bico é escolhido conforme a velocidade de fluxo. Em baixas velocidades, usa-se o bico de 1/4"; em velocidades moderadas usa-se o bico de 3/16" e nas maiores velocidades, o bico de 1/8". As outras subamostras serão obtidas com tempos proporcionais entre o tempo padrão e as profundidades. Esses tempos de

coletas das outras subamostras podem ser obtidos também pelo cálculo da nova velocidade de trânsito utilizada, que será mantida em toda a amostragem.

As subamostras obtidas podem ser reunidas em uma só amostra composta para determinação da concentração média de sedimentos, permitindo análises com a precisão desejável.

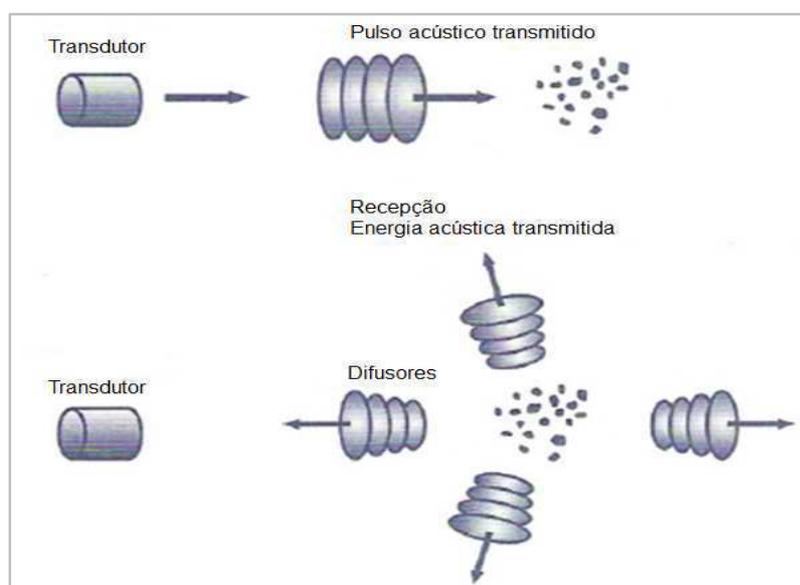
2.8. Utilização do Medidor Doppler Acústico de Vazão - ADCP

O ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler, ou Correntômetro Acústico de Efeito Doppler, é um aparelho desenvolvido para medir a velocidade das partículas suspensas na água e por consequência a descarga líquida através do efeito Doppler.

Os ADCPs também são chamados de aparelhos Doppler ou instrumentos Doppler. Segundo Simpson (2001), o efeito Doppler é um princípio da física descoberto pelo austríaco Christian Johann Doppler (matemático e físico) em 1842, em Praga - Czechoslovakia e por isso denominado de efeito Doppler.

O ADCP transmite um pulso acústico (um ping) na coluna de água e em seguida, escuta o regresso do som (o eco). Ao receber o eco, o ADCP calcula o efeito Doppler. A Figura 6 mostra um esquema de como um pulso acústico é transmitido na água e as suas conseqüentes reflexões de energia acústica.

Figura 6 - Transmissão e dispersão de um pulso acústico



Fonte: Simpson, 2001

Os equipamentos Doppler nasceram para serem aplicados em ambiente de mar e oceano. Primeiramente foram desenvolvidos para medir correntes sem grandes turbulências. O aparelho ficava estático no fundo ou preso a uma boia. Depois surgiram os sistemas em movimento, acoplados basicamente a barcos, e passaram a medir ambientes mais dinâmicos (GAMARO, 2012).

Segundo o mesmo autor, estes aparelhos estão no mercado internacional há mais de 20 anos e têm aplicação em diversas áreas, com calibração de modelos hidrodinâmicos de correntes em reservatórios, perfis de velocidade em uma seção, velocidade indexada, estudos de hidráulica e outros.

No Brasil, embora comercializados há mais de uma década, sua utilização ainda é muito pequena e basicamente voltada para a medição de vazão.

2.9. Métodos Usuais de Análises de Sedimentos

Os métodos mais usuais de medição da concentração de sedimentos e de granulometria estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Métodos usuais de análise de sedimentos

SEDIMENTO EM SUSPENSÃO	Análise de concentração	Filtração Evaporação Tubo de remoção pela base
	Análise granulométrica	Tubo de remoção pela base Pipetagem Densímetro
MATERIAL DO LEITO	Análise granulométrica	Peneiramento Densímetro Pipetagem Tubo de acumulação visual Tubo de remoção pela base

Fonte: DNAEE citado por Carvalho (2008, p. 196)

De acordo com Carvalho, (2008) os métodos para sedimentos em suspensão são escolhidos de acordo com as análises a serem efetuadas. Caso seja somente análise de concentração, optar-se pelo método de evaporação ou o de filtragem. Se for necessário também efetuar análise granulométrica, usar-se-á o método de pipetagem ou do tubo de remoção pela base, cujo resultado final fornece a concentração. A escolha do método é tanto função da análise a ser feita, da quantidade de sedimento presente na amostra, quanto da qualidade do sedimento.

No estudo desenvolvido por Souza (2011), no Rio Capibaribe em Recife-PE, avaliou a produção de sedimentos, utilizando o método de evaporação para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão e Carvalho (2007) obteve a quantificação dos sedimentos em suspensão no Rio Araguaia a partir da filtração, com a utilização de uma bomba a vácuo em filtros de millipore (0,45 μ m).

A análise de distribuições granulométricas de material de fundo também foram analisados por Campos e Freitas (2007) no Rio Maranguapinho no Ceará e por Souza (2011) no Rio Capibaribe em Recife-PE, nos quais utilizaram método de peneiramento das amostras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 7 está apresentado o fluxograma das atividades desenvolvidas durante a realização deste trabalho.

Figura 7 - Fluxograma das atividades desenvolvidas neste trabalho

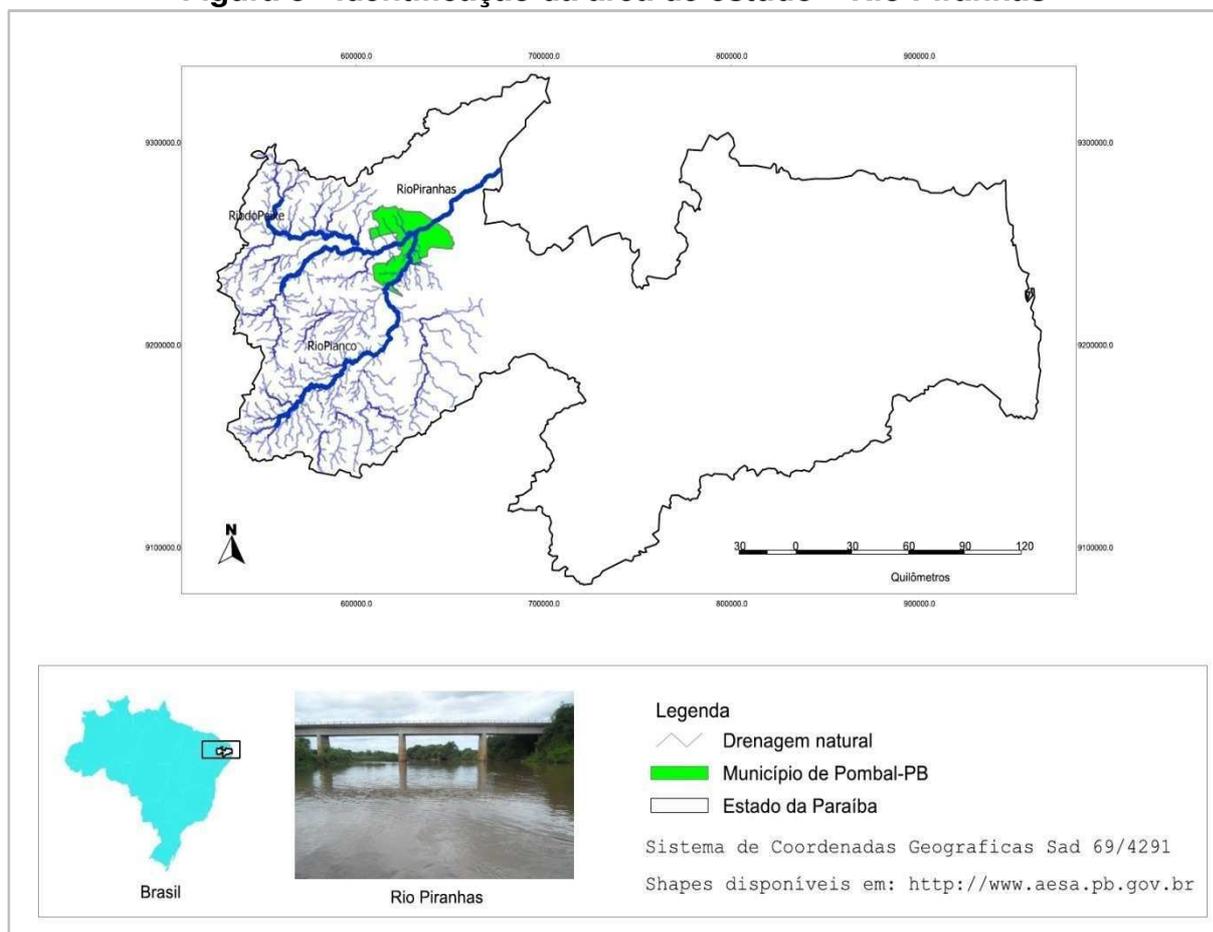
Área de Estudo	Medições na Seção de Controle	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Determinação da descarga líquida ➤ Amostragem de sedimentos em suspensão ➤ Amostragem de sedimentos de fundo 	
	Análises em Laboratório	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Análise de sedimentos em suspensão </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> • Determinação da concentração de sedimentos em suspensão • Determinação da granulometria dos sedimentos em suspensão • Determinação da descarga sólida em suspensão </td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinação da descarga sólida total 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análise de sedimentos em suspensão
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análise de sedimentos em suspensão 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação da concentração de sedimentos em suspensão • Determinação da granulometria dos sedimentos em suspensão • Determinação da descarga sólida em suspensão 		

3.1. Área de Estudo

O presente trabalho foi realizado na sub-bacia hidrográfica do rio Piranhas, na bacia hidrográfica do rio Piancó Piranhas Açu, com secção de controle próxima à ponte sobre o rio Piranhas, na BR-230, a 5 km da cidade de Pombal - PB (Figura 8).

Nesse local, geograficamente localizado pelas coordenadas 6°43'43"S e 37°47'40"W, existe uma estação fluviométrica da Agência Nacional de Água - ANA, operada pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA, com medições diárias de vazão.

Figura 8 - Identificação da área de estudo – Rio Piranhas



Fonte: Arquivo pessoal

3.2. Medições na Seção de Controle

Foram realizadas 15 campanhas de medições no período de novembro/2012 a maio/2013, correspondentes às leituras do nível de água nas régua linimétrica, medições de vazão, coletas de amostras de água com sedimentos em suspensão e de sedimentos de fundo durante o período de estiagem, com frequência mensal, e durante o período chuvoso, seguindo as ocorrências de chuvas que provocasse a alteração da vazão do rio.

Todos os instrumentos e equipamentos utilizados para medições e coletas pertencem ao Laboratório de Hidrologia do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Pombal – PB.

3.2.1. Determinação da descarga líquida

Para a determinação da vazão líquida foi utilizado um medidor acústico *dopler* de vazão, Perfilador Acústico Corrent Doppler – ADCP, modelo RiverSurveyor S5 da Sontek (Figura 9).

Figura 9 - ADCP S5 e Prancha SonTek Hydroboard com PCM, GPS e ADP



Fonte: Sontek, 2009

Foi colocado um cabo graduado na secção para prender a embarcação, onde o aparelho (ADCP) foi fixado na lateral desta e conectado a um notebook onde é instalado o software - RiverSurveyor Live fornecido pelo fabricante (Figura 10).

Figura 10 – Medição de descarga líquida com o uso do ADCP do Rio Piranhas



Fonte: Arquivo pessoal

Em seguida, foram realizadas em cada campanha, no mínimo, duas travessias da seção do rio, quando são registrados, simultaneamente: perfil de fundo

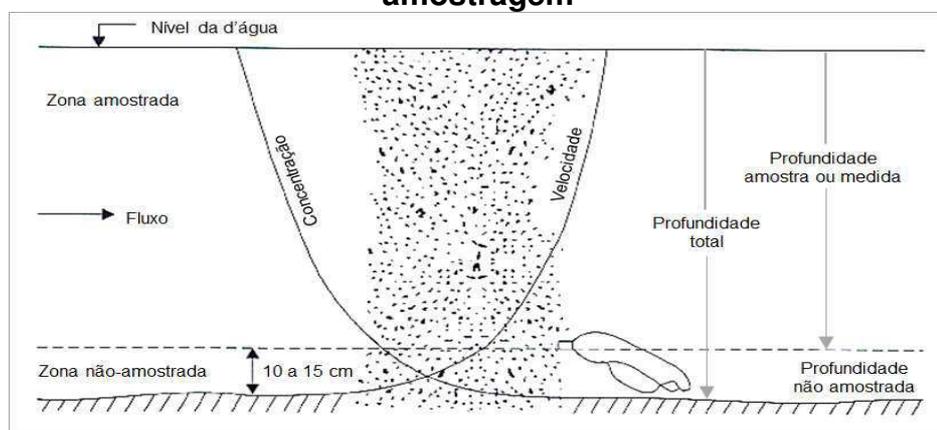
ou batimetria, perfis e direções de velocidades, trajetória descrita pelo barco e outros parâmetros. O próprio software encarrega-se de registrar e processar as informações colhidas e calcular a vazão total na seção.

3.2.2. Amostragem de sedimentos em suspensão

O processo da amostragem realizada neste trabalho para a análise de concentração e granulometria de sedimentos em suspensão, foi com base na metodologia de Carvalho et al (2008), usando a integração na vertical do perfil de igual incremento de largura.

A amostragem foi feita com o enchimento da garrafa, o qual ocorre durante a movimentação vertical do amostrador em velocidade de trânsito constante entre a superfície e o leito, que procura evitar o impacto do amostrador no leito para não levantar sedimento, coletando partículas que antes não se encontravam em suspensão (Figura 11).

Figura 11 - Zona de amostragem, medida e não medida, numa vertical de amostragem



Fonte: Guy e Norman citado por Carvalho, 2008

Foram utilizados os amostradores DH-48 (medição a VAU - realizada por um operador que atravessa o curso de água a pé) com bico 1/4" (Figura 12A) e DH-49, fazendo-se uso do barco de alumínio da ARUAK 500 PREMIUM, com guincho fluviométrico modelo 207/10 da HIDROMECA e motor de popa da MERCURY (Figura 12B).

O número de amostras obtidas variaram de acordo com a época da campanha realizada, no período seco, o volume coletado foi geralmente 10 L e no período chuvoso, foi cerca de 5 L para diferentes verticais.

Figura 12 - Amostradores DH-48 com medição a VAU (A) e DH-49 com uso do barco (B)



Fonte: Arquivo pessoal

3.2.3. Amostragem de sedimentos de fundo

As amostras foram obtidas a vau e com o amostrador BMH60-105/06 da HIDROMECC, fazendo-se uso do barco de alumínio, com guincho fluviométrico e motor de poupa (Figura 13).

Na seção do rio foram estabelecidos três pontos de coletas, que em cada ponto eram coletados em torno de 500 g de sedimentos de fundo, durante todas as campanhas realizadas.

Figura 13 - Coleta de sedimento de fundo



Fonte: Arquivo pessoal

3.3. Análises em Laboratório

3.3.1. Análise de sedimentos em suspensão

A análise de sedimento em suspensão foi constituída da determinação da concentração e da granulometria dos sedimentos, bem como da descarga do material sólido em suspensão.

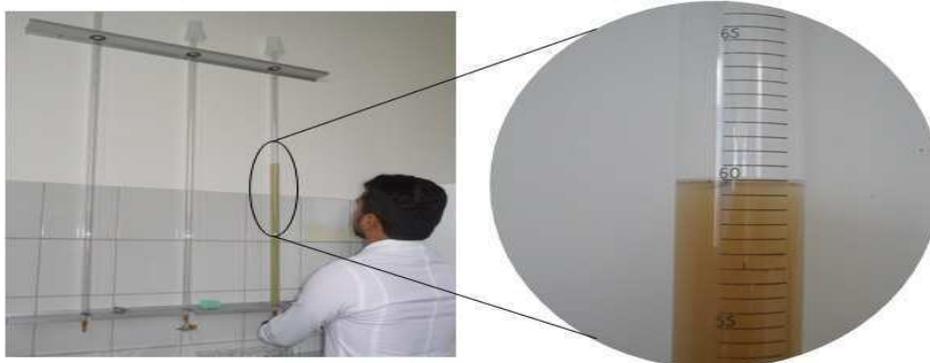
3.3.1.1. Determinação da concentração de sedimentos em suspensão

As amostras de água mais sedimentos coletadas nas 15 campanhas foram levadas ao laboratório de Hidrologia do CCTA/UFMG, colocadas em repouso por um período mínimo de 96 horas, para a decantação dos sedimentos a fim de se obter a redução de volume.

Para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão foi empregado o método do tubo de retirada pela base (Figura 14), descrito por Carvalho (2008), cuja estrutura, montada no laboratório de Hidrologia, constitui-se de três tubos de vidro graduados em divisões de 5 mm, com 1,20 m de comprimento, 2,54 cm de diâmetro interno e 3,0 cm de diâmetro externo.

O volume da amostragem reduzida foi inserido em um tubo (para cada amostra), sendo completado com água do rio, quando necessário, até atingir o limite da graduação 100 cm. Logo em seguida foi realizado movimentos de 180° do tubo para a perfeita dispersão dos sedimentos, durante cinco minutos, e em seguida colocado em seu suporte na posição vertical, para realização das leituras.

Figura 14 - Análise granulométrica e de concentração de sedimentos em suspensão com o tubo de remoção pela base



Fonte: Arquivo pessoal

As retiradas das amostras foram realizadas em diferentes intervalos de tempo, determinados em função do diâmetro das partículas que se precipitam. Assim, foram feitas retiradas de amostras sucessivas a partir do início do teste, nos seguintes intervalos de tempo: 0; 1; 2; 4; 8; 13; 32; 80; 160; 450 e 451 minutos (Figura 14). Os volumes das amostras foram aproximadamente iguais, com variação de aproximadamente 10 cm da graduação do tubo. Para cada amostra retirada obteve-se o valor da temperatura.

As onze porções recolhidas durante o teste foram colocadas para secagem, em estufa modelo 3 da PETRODIDÁTICA, por um período de 24 horas, com temperatura entre 100 e 105 °C. Em seguida, foram levadas ao dessecador em temperatura ambiente. Finalmente, foi determinada o peso total de cada amostra pela diferença entre o peso seco (peso do becker mais de sedimentos) e o peso do becker.

A concentração de sedimentos em suspensão – C_{ss} (mg/L) foi obtida a partir da relação entre massa de sedimentos – m_{ss} (mg) (solo seco) e o volume coletado - V (L), segundo a equação (5).

$$C_{ss} = \frac{m_{ss}}{V} \quad (5)$$

3.3.1.2. Determinação da granulometria dos sedimentos em suspensão

A determinação em porcentagem, da granulometria dos sedimentos em suspensão foi obtido a partir da curva de Oden.

A descrição para a obtenção desta curva é feita por Carvalho (2008). Usando um papel milimetrado, plotam-se em escala horizontal os resultados da Coluna 14 (tempo de deposição em minutos) (Apêndices A a O), e, em escala vertical, os resultados que se encontram na Coluna 13 (porcentagem de sedimento em suspensão) (Apêndices A a O).

Emprega-se ainda, um artifício na escala dos tempos: o da superposição de valores, ou seja, a mesma escala variando nos seguintes limites: de 0 a 14 minutos, de 0 a 140 minutos, de 0 a 1400 minutos e de 0 a 14000 minutos (formando outras curvas que são representativas da curva de Oden).

A escala horizontal dos tempos será melhor utilizada quanto maior for sua dimensão. Usam-se duas, três ou as quatro escalas, conforme o resultado do ensaio, dividindo assim a curva de Oden em curvas representativas.

Com o artifício da superposição de valores, pode-se obter até quatro curvas, que fornecem bons pontos para o respectivo traçado da curva.

Na primeira escala, por exemplo, plotam-se os pontos da Coluna 14 (Apêndices A a O), contidos no intervalo 0 - 14, e suas respectivas porcentagens. Normalmente, encontram-se de 4 a 6 pontos. Na segunda escala, marcam-se os pontos compreendidos no intervalo 0 - 140; na terceira de 0 - 1400 e na quarta de 0 - 14000.

Estabelecidas as curvas de Oden, emprega-se a tabela de tempo para ser usada com a curva de Oden (Anexo A). Essa tabela tem na primeira coluna vertical da esquerda, temperaturas de 10°C a 32 °C; no alto de cada uma das colunas verticais seguintes encontram-se os diâmetros (em mm) das partículas que são os seguintes: 1,0; 0,50; 0,25; 0,125; 0,062; 0,044; 0,031; 0,022; 0,016; 0,011; 0,008; 0,006; 0,004; 0,003 e 0,002.

Nas colunas verticais, em correspondência com as temperaturas de ensaio, leem-se os valores referentes a cada diâmetro-padrão. Esses valores são levados ao gráfico da Curva de Oden, tomando-se como referência a escala horizontal dos tempos.

Neste estudo, porém utilizou-se o método da regressão não linear (Brown, 2001) para os ajustes das curvas de Oden, por obter melhor traçado, empregando procedimento computacional, fornecido por Carvalho (2008).

3.3.1.3. Determinação da descarga sólida em suspensão

As medições das descargas sólidas em suspensão – Q_{ss} (t/dia), com amostragem de igual incremento de largura, foi calculada a partir da equação (6).

$$Q_{ss} = 0,0864 . Q . C_{ss} \quad (6)$$

sendo Q a descarga líquida em m^3s^{-1} e C_{ss} a concentração de sedimento em suspensão em $mg.L^{-1}$, resultando Q_{ss} em $t.dia^{-1}$.

No cálculo da Q_{ss} , a estimativa de Q_{ss} é efetuada com a concentração de sedimento menor do que a concentração real devido a limitação do equipamento, que não permite a coleta na zona não-amostrada. Então para essa correção pode

ser aplicado o método modificado de Einstein (ou método de Colby, 1957) citado por Carvalho (2008).

3.3.1.3.1. Determinação da descarga sólida total

Para o cálculo da descarga sólida total, Colby (1957) desenvolveu pelo menos três métodos, baseados no método de Einstein e em várias medições no campo. Um deles, disponível em Carvalho (2008) é o que foi utilizado nesse estudo, que usa basicamente três ábacos, dados de descarga líquida em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, velocidade média em $\text{m}.\text{s}^{-1}$, profundidade média em m, largura da seção em m e concentração medida de sedimentos em suspensão em $\text{mg}.\text{L}^{-1}$.

A descarga sólida total é calculada pela soma da descarga sólida em suspensão (medida), com a descarga sólida de fundo (não medida). Isto é feito através da equação (7):

$$C_{st} = Q_{ss} + Q_{nm} \quad (7)$$

em que, Q_{st} é a descarga sólida total em $\text{t}.\text{d}^{-1}$, Q_{ss} é a descarga sólida medida em $\text{t}.\text{d}^{-1}$ e Q_{nm} é a descarga sólida não medida em $\text{t}.\text{d}^{-1}$.

Os valores de Q_{ss} e Q_{nm} , são obtidos a partir da equação (6) e por meio dos três ábacos, respectivamente.

Os procedimentos de uso dos ábacos e respectivos cálculos são o seguinte:

- Obtém-se a descarga sólida não medida aproximada – q_{nm} , por unidade de largura ($\text{t}.\text{d}^{-1}.\text{m}^{-1}$) no primeiro ábaco (Anexo B);
- Obtém-se a concentração relativa - C_r , em um segundo ábaco (Anexo C), a partir da velocidade média e da profundidade média;
- Calcula-se a razão de eficiência de acordo com a equação (8);

$$e = \frac{C_{ss}}{C_r} \quad (8)$$

- A partir dessa razão, obtém-se em um terceiro ábaco (Anexo D), o fator de correção K, na linha média igual a 1;
- Calcula-se Q_{nm} pelo produto de q_{nm} , pelo fator de correção K e pela largura da seção L, conforme a equação (9).

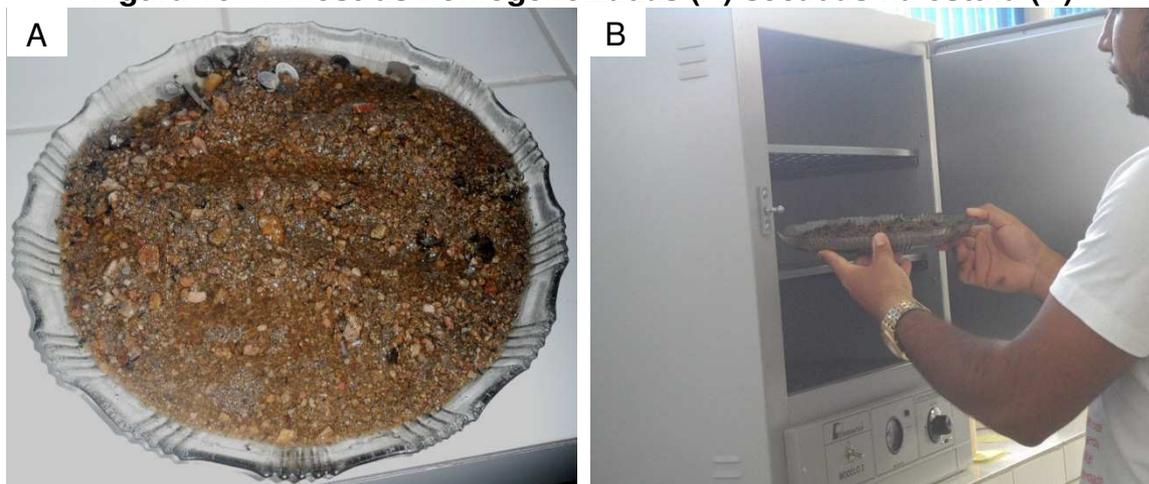
$$Q_{nm} = q_{nm} . K . L \quad (9)$$

3.3.2. Análise da granulometria de sedimentos de fundo

Para avaliação do material do leito, utilizou-se a análise granulométrica por peneiramento para identificar a distribuição do tamanho das partículas, através da construção da curva granulométrica e a sua distribuição das respectivas porcentagem de ocorrência. Com esta análise determinaram-se o tamanho e a caracterização das partículas constituintes do solo.

Para a realização dos ensaios, as amostras de sedimentos de fundo coletadas que foram trazidas ao laboratório, foram homogeneizadas (Figura 15A) e colocadas na estufa, com temperatura controlada para 105 °C, por tempo mínimo de 16 horas (Figura 15B).

Figura 15 - Amostras homogeneizadas (A) secadas na estufa (B)



Fonte: Arquivo pessoal

Em seguida, pesaram-se 100 gramas do material seco homogeneizado em um beker, que foi transferido para uma série de peneiras de números: 5, 10, 18, 35, 60, 80, 120 e 230 da PETRODIDÁTICA, fazendo a lavagem do becker com água destilada. Essas peneiras foram agitadas por um agitador mecânico da BERTEL por 15 minutos (Figura 16A); o material retido em cada peneira foi separado em nove cadinhos e secados em estufa com temperatura controlada para 105 °C, por tempo mínimo de 16 horas, em seguida resfriadas no dessecador (Figura 16B). Por fim, obteve-se o peso do material seco de cada fração.

Figura 16 - Peneiramento mecânico das amostras (A) e secagem na estufa e resfriadas no dessecador (B)



Fonte: Arquivo pessoal

Com estes dados, foi construída a curva granulométrica de material de fundo a qual forneceu os seguintes diâmetros característicos: D90, D84, D65, D50, D35, D16, os quais foram utilizados em outros procedimentos de estimativa de descarga de sedimentos de fundo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das 15 campanhas de medições hidrossedimentométricas realizadas, abrangem as determinações de concentração de sedimentos em suspensão, descargas (líquida, sólida em suspensão, sólida em suspensão não medida e sólida total em suspensão), bem como dos parâmetros hidrossedimentológicos (cota do rio, largura do topo, velocidade média da água e profundidade média) na seção de controle estudada na bacia do Rio Piranhas.

4.1. Material Sólido em Suspensão

4.1.1. Concentração de sedimentos em suspensão

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados das análises de sedimentos em suspensão e dos parâmetros hidrossedimentológicos registrados referente as 15 campanhas realizadas no Rio Piranhas, obtidos a partir dos dados apresentados nas tabelas dos Apêndices (A a O).

A região semiárida é caracterizada por períodos sazonais distintos, sendo composta por um período de estiagem e por outro período chuvoso. Diante disto, observa-se que as variáveis hidrossedimentológicas estudada, apresentaram diferentes relações para os dois períodos, conforme observado na Tabela 4.

Os valores da concentração de sedimentos em suspensão variaram entre 2,53 mg L⁻¹ e 161,99 mg L⁻¹, tendo um valor médio de 46,59 mg L⁻¹ com desvio padrão de 43,93 mg L⁻¹ para uma vazão média de 12,87 m³ s⁻¹. O valor médio da concentração de sedimentos em suspensão encontrado no Rio Piranhas difere dos valores encontrados em alguns outros rios com diferentes vazões, como mostram os estudos realizados por Lima et al (2003) no Rio Tocantins, com uma concentração de 8,84 mg L⁻¹ para uma vazão média de 10.981,0 m³ s⁻¹; por Lima et al (2001) no Rio São Francisco, com um valor médio de 27,38 mg L⁻¹ e vazão média de 2.119,5 m³ s⁻¹; por Guyot et al (2005) que, trabalhando no Rio Amazonas, encontraram uma concentração de 149,33 mg L⁻¹ e vazão média de 149,33 m³ s⁻¹; por Carvalho et al (2005) no Rio Paraguai, que observaram uma concentração de 108,11 mg L⁻¹ e vazão média de 172.000,0 m³ s⁻¹ e por Souza (2011) Rio Capibaribe, que encontrou uma concentração de 561,95 mg L⁻¹ e vazão média de 2,49 m³ s⁻¹.

Tabela 4 - Dados das análises de sedimentos em suspensão do rio Piranhas

Período	Medição	Data da campanha	H (m)	A (m ²)	L (m)	V (m s ⁻¹)	Pm (m)	Css (mg l ⁻¹)	Descargas			
									Q (m ³ s ⁻¹)	Qss (t dia ⁻¹)	Qnm (t dia ⁻¹)	Qst (t dia ⁻¹)
Seco	1	20/11/2012	0,52	33,7	51,28	0,315	0,68	8,8	10,76	8,18	19,37	27,55
	2	26/12/2012	0,46	31,8	50,83	0,300	0,65	2,53	9,68	2,12	9,7	11,82
	3	31/01/2013	0,485	32,6	51,02	0,306	0,66	7,32	10,12	6,4	16,69	23,09
	4	28/02/2013	0,495	32,9	51,09	0,308	0,67	8,59	10,30	7,64	17,07	24,71
Chuvoso	5	19/03/2013	0,87	47,6	53,98	0,420	0,91	161,99	19,93	279	209,66	488,66
	6	22/03/2013	1,0	54,0	55,02	0,467	1,02	83,38	25,06	180,55	198,18	378,73
	7	26/03/2013	0,79	43,1	53,11	0,384	0,85	96,58	16,57	138,27	128,1	266,37
	8	27/03/2013	0,72	41,1	52,80	0,371	0,81	45,48	15,31	60,15	85,05	145,2
	9	28/03/2013	0,92	50,5	54,54	0,442	0,95	82,01	22,33	158,22	178,91	337,13
	10	30/03/2013	0,525	33,9	51,32	0,316	0,69	55,25	10,86	51,83	51,3	103,13
	11	02/04/2013	0,341	28,3	49,95	0,272	0,59	32,22	7,85	21,86	27,75	49,61
	12	10/04/2013	0,29	26,9	49,58	0,260	0,56	16,71	7,18	10,37	15,92	26,29
	13	15/04/2013	0,3	27,2	49,65	0,263	0,57	15,62	7,31	9,86	16,3	26,16
	14	25/04/2013	0,44	31,2	50,68	0,295	0,64	36,39	9,35	31,13	31,24	62,64
	15	14/05/2013	0,435	32	50,78	0,308	0,66	45,91	9,84	39,03	42,42	81,45
Valor médio			0,57	36,46	51,71	0,34	0,73	46,59	12,87	66,97	69,84	136,84
Desvio padrão			0,23	8,65	1,75	0,07	0,14	43,93	5,65	83,22	72,43	154,49

Legenda: H: cota (régua linimétrica); A: área molhada; L: largura do topo; V: velocidade média da água; P: profundidade média; Q: descarga líquida; Css: concentração de sedimentos em suspensão; Qss: descarga sólida em suspensão medida; Qnm: descarga sólida em suspensão não medida; Qst: descarga sólida total.

Fonte: Dados da pesquisa

Os dados apresentados na Tabela 4, referentes aos meses de novembro de 2012 a fevereiro de 2013 corresponderam ao período de estiagem (seco), que inicia em setembro e se prolonga até fevereiro, enquanto os meses de março a maio, compõe o período chuvoso que se prolonga até agosto.

No período seco ocorreu baixa produção de sedimentos, constatando-se que a menor concentração de sedimento em suspensão ocorreu na segunda medição (26/12/2012) com um valor correspondente a $2,53 \text{ mg L}^{-1}$ para uma vazão de $9,68 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Já no mês de março, quando registrado ocorrência de chuva significativa por estar no início da época chuvosa, registrou-se a maior concentração, que ocorreu na quinta medição (19/03/2013), com um valor de $161,99 \text{ mg L}^{-1}$ para uma vazão de $19,93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Esta variação de produção de sedimentos também foi avaliada por Souza (2011) no estudo referente à produção de sedimento da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, que para o período chuvoso e não chuvoso do ano de 2010, constata-se que a maior concentração de sedimento em suspensão ocorreu no período chuvoso com um valor correspondendo a $1071,55 \text{ mg L}^{-1}$ para uma vazão de $5,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e a menor concentração ocorreu no período não chuvoso com um valor de $363,10 \text{ mg L}^{-1}$ para uma vazão de $0,29 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

De acordo com Carvalho (2008), que analisou o comportamento das concentrações de sedimentos, 70% a 90% do material transportado nos cursos d'água estão diretamente relacionados com a quantidade de precipitações e ocorrem principalmente durante período de fortes chuvas.

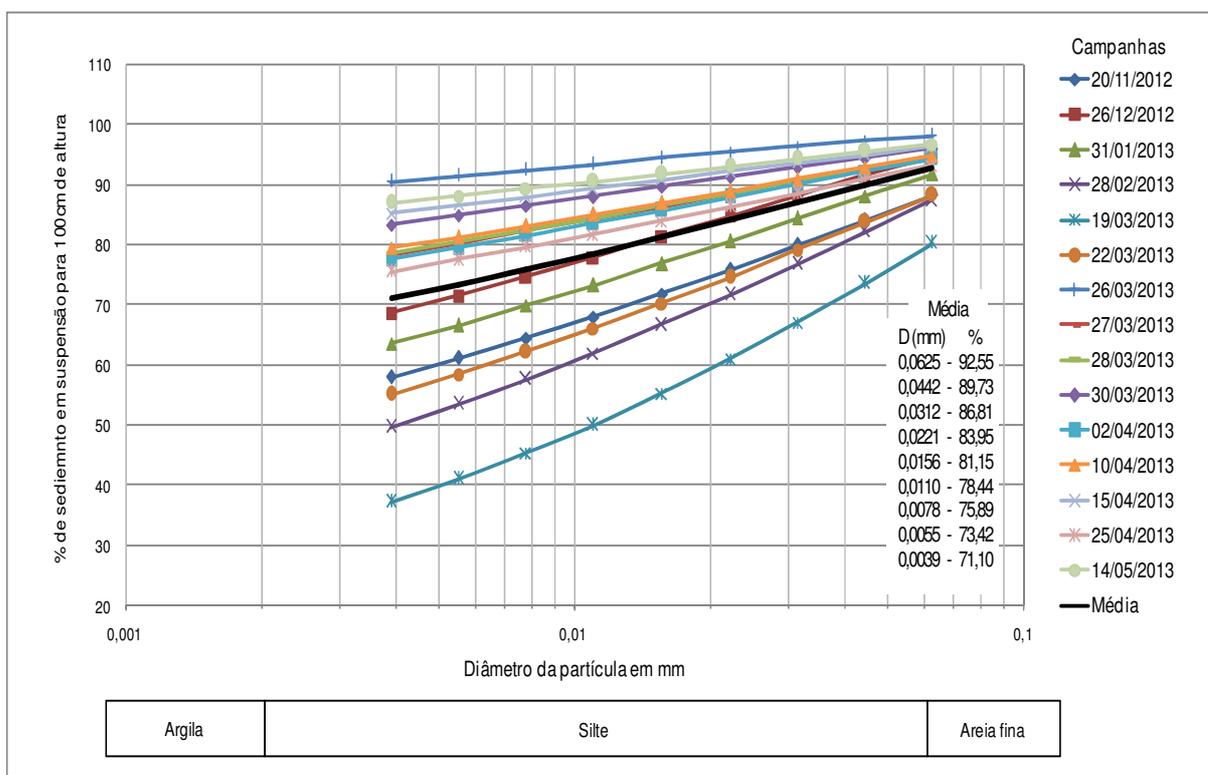
Como pode ser visto na Tabela 4, este comportamento é observado na primeira medição do mês de maio, quando se obteve maior registro de concentração de sedimentos em suspensão nesse estudo, devido à ocorrência das primeiras precipitações no dia anterior da amostragem em toda a bacia hidrográfica do Rio Piranhas.

Neste período de início das chuvas na região de estudo, a vegetação encontrava-se sem folhagem, deixando o solo exposto à ação do processo erosivo e de ocorrer a lavagem de toda a bacia hidrográfica pelo escoamento superficial, carreando todo o material sólido desprendido para o exutório, promovendo o registro de maior concentração de sedimentos em suspensão, durante o período estudado.

4.1.2. Granulometria de sedimentos em suspensão

Para cada amostragem de sedimentos em suspensão foi construída a Curva de Oden, conforme mostram os Apêndices (O a DD), a partir das quais obteve-se a percentagem da granulometria dos sedimentos em suspensão, que permitiu a confecção das curvas granulométricas dos sedimentos em suspensão referentes às 15 medições (Figura 17).

Figura 17 - Curva granulométrica e média de sedimentos em suspensão para as medições realizadas no período de novembro de 2012 a abril de 2013 do Rio Piranhas



Fonte: Dados da pesquisa

Tomando como referência a classificação granulométrica da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (norma NBR 6.502/1995), citada por Carvalho (2008), com a obtenção da porcentagem granulométrica média, conforme a Figura 17, classificou-se o tipo de sedimento que está sendo carregado e/ou depositado no rio Piranhas, que apresentou uma variação de maior concentração de silte, argila e areia fina. Conforme Carvalho (2008) o tipo de material sólido transportado em suspensão é, predominantemente, de argila e silte.

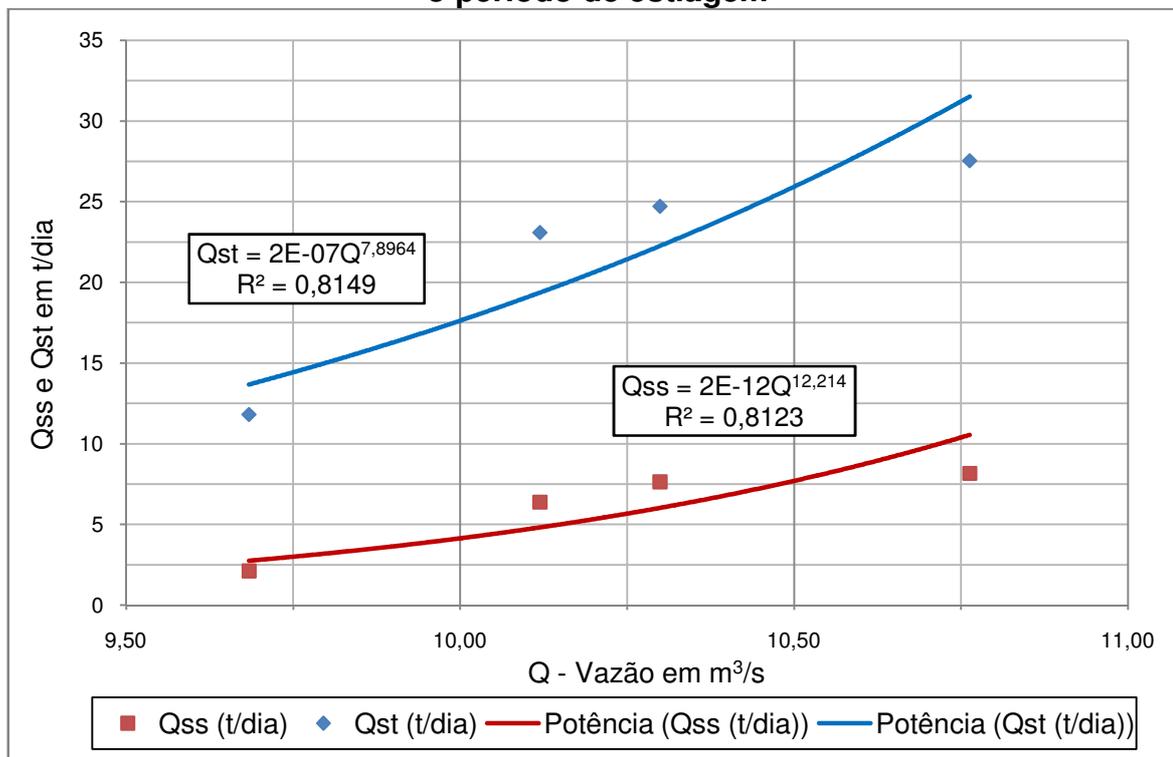
A variação da granulometria de material sólido em suspensão, também foi analisada por Lima e Silva (2007), que utilizaram resultados de análises granulométricas de 30 amostras de sedimentos em suspensão, coletadas na Bacia Araguaia-Tocantins, no ano 2000, obtendo grande variabilidade na distribuição granulométrica das amostras, indicando que as mesmas se compõem de partículas de argila, silte e areia fina.

Observando a Figura 17, constata-se que a curva granulométrica com maior variabilidade de percentagem de sedimento em suspensão do Rio Piranhas, foi registrada na amostragem do dia (19/03/2013), devido ser proveniente do registro da maior carga de produção de sedimentos observado no período de estudo, por estar no início da época chuvosa, conforme descrito anteriormente.

4.1.3. Descarga sólida total de sedimentos em suspensão

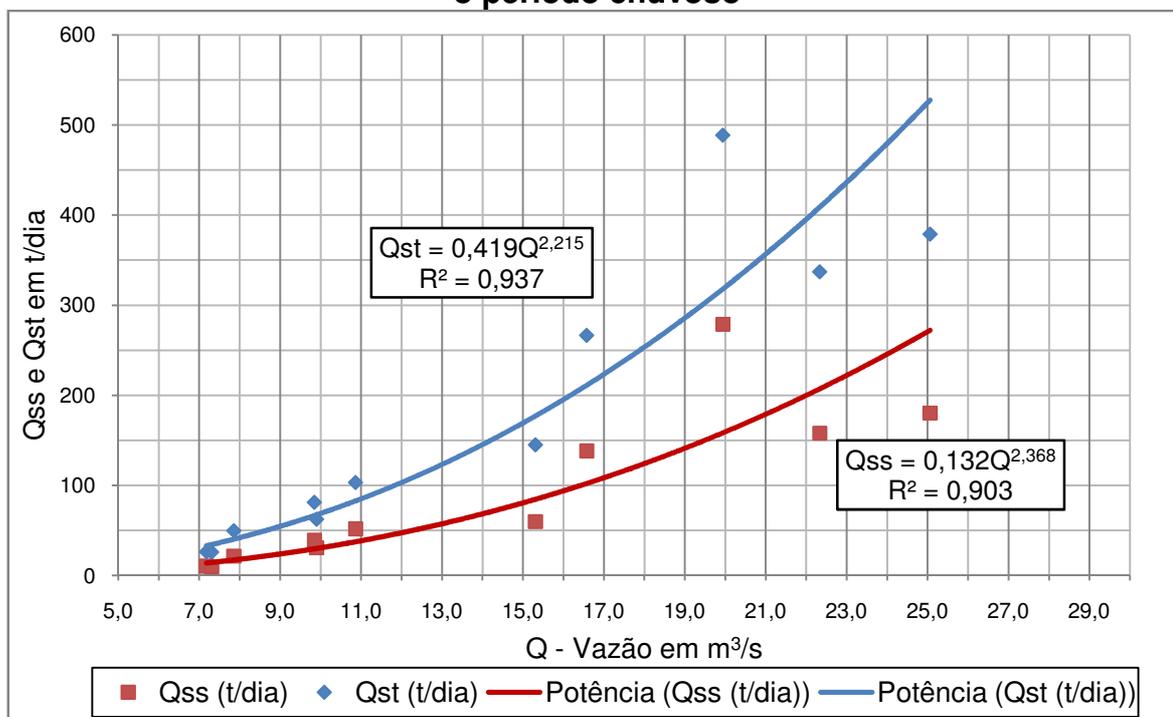
Seguindo o que descreve Carvalho (2008), em que a plotagem de uma grande quantidade de dados de um determinado posto pode apresentar curvas distintas, uma do período de estiagem e outra do período chuvoso, então foram plotados os gráficos que representam curvas chaves de sedimentos em suspensão do Rio Piranhas, para esses dois períodos, apresentadas na Figura 18 e 19, respectivamente. Essas curvas mostram a correlação existente entre a concentração ou descarga sólida em função da vazão ou descarga líquida.

Figura 18 - Curvas chaves de sedimentos em suspensão do Rio Piranhas, para o período de estiagem



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 19 - Curvas chaves de sedimentos em suspensão do Rio Piranhas, para o período chuvoso



Fonte: Dados da pesquisa

Com os ajustes das curvas chaves das descargas sólida em suspensão e total do Rio Piranhas, para o período de estiagem (Figura 18), pode-se observar que mesmo utilizando poucos dados de observação, ocorreram bons ajustes das curvas, que apresentou uma boa correlação entre as variáveis analisadas. Os respectivos coeficientes de determinação R^2 com valores de 0,8123 e 0,8149, indicam que 81,23 % e 81,49 % de variação da variável descarga líquida, explica a variação da variável descarga sólida em suspensão e descarga sólida total, respectivamente.

Os ajustes das curvas chaves das descargas sólida em suspensão e total do Rio Piranhas para o período chuvoso (Figura 19), também apresentaram bons ajustes, como mostra os respectivos coeficientes de determinação 0,903 e 0,937.

Segundo Gomes et al (2009), para se ter uma análise mais consistente das curvas é necessário um maior número de dados por se tratar de séries hidrológicas, principalmente na região do semiárido devido à desuniformidade das chuvas.

Os valores de descarga sólida em suspensão para o total de campanhas realizadas no Rio Piranhas variaram entre 180,55 e 2,12 t dia⁻¹ para as respectivas variações de descargas líquidas de 25,06 e 9,68 m³ s⁻¹.

Valores de descarga sólida em suspensão com magnitude bem superiores foram encontrados por Cunha Filho et al (2010), em estudo de produção de sedimentos em suspensão da bacia hidrográfica do Riacho Exu, no semiárido Pernambucano, o qual teve variações de 13.539,39 t dia⁻¹ a 1,03 t dia⁻¹; Melo et al (2008), na pesquisa realizada na sub-bacia hidrográfica do Rio Jacu- PE, obtiveram uma variação de 0,094 t dia⁻¹ a 9,018 t dia⁻¹ com as respectivas variações de vazões de 0,00708 a 0,3446 m³ s⁻¹.

De acordo com Carvalho (2008) na natureza, para cada vazão num determinado momento, existe um valor distinto de descarga sólida, concluindo que a curva chave de sedimentos não pode substituir os valores reais confiáveis.

Chow et al (1998) ressaltam que as curvas chaves precisam ser checadas periodicamente, devido às diferenças que podem ocorrer em relação a alguns fatores como a deposição de sedimentos, que para uma mesma cota pode fornecer vazões diferentes; Souza (2011), também ressalva que se deve ficar atento ao fato da curva chave estar intimamente ligada às características hidráulicas da seção de controle, pois qualquer mudança dessas características pode acarretar uma variação da expressão matemática.

4.2. Material Sólido de Fundo

4.2.1. Granulometria dos sedimentos de fundo

Na Tabela 5 são apresentados os valores de porcentagens passadas de cada peneira das frações dos sedimentos do material sólido de fundo do Rio Piranhas, para as 15 medições realizadas, as quais mostraram baixa variação de distribuição do material de leito.

Carvalho et al (2000) explicam que os processos de erosão, transporte e deposição de partículas sólidas são dependentes dentre outras grandezas, da granulometria dos materiais expostos e carreados. Desta forma, o traçado da curva granulométrica é essencial na hidrossedimentologia, possibilitando a obtenção de determinados diâmetros característicos das amostras, fundamentais na estimativa do deslocamento de sedimentos em bacias hidrográficas.

A partir dos dados obtidos da distribuição granulométrica do material de fundo do Rio Piranhas, apresentados na Tabela 5, foi plotado a curva granulométrica média do material de fundo referente às 15 campanhas realizadas (Figura 20).

De acordo com a classificação granulométrica da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (norma NBR 6.502/1995), citada por Carvalho (2008, p. 219) o tipo de sedimento que está em contato com o leito do rio Piranhas, teve variação de pedregulho a areia fina.

A classificação granulométrica de sedimentos de fundo também foi realizada por Souza (2011) na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, em que compreendeu a maior parte a classe textural de areia grossa e em menor parte muito grossa e areia média, segundo a classificação adotada pela American Geophysical Union (AGU), para os níveis de vazões obtidos.

Com a determinação dos diâmetros característicos D90, D84, D65, D50, D35 e D16, conforme mostra a Figura 20, e outros parâmetros hidrossedimentológicos é possível determinar a descarga sólida de material de fundo.

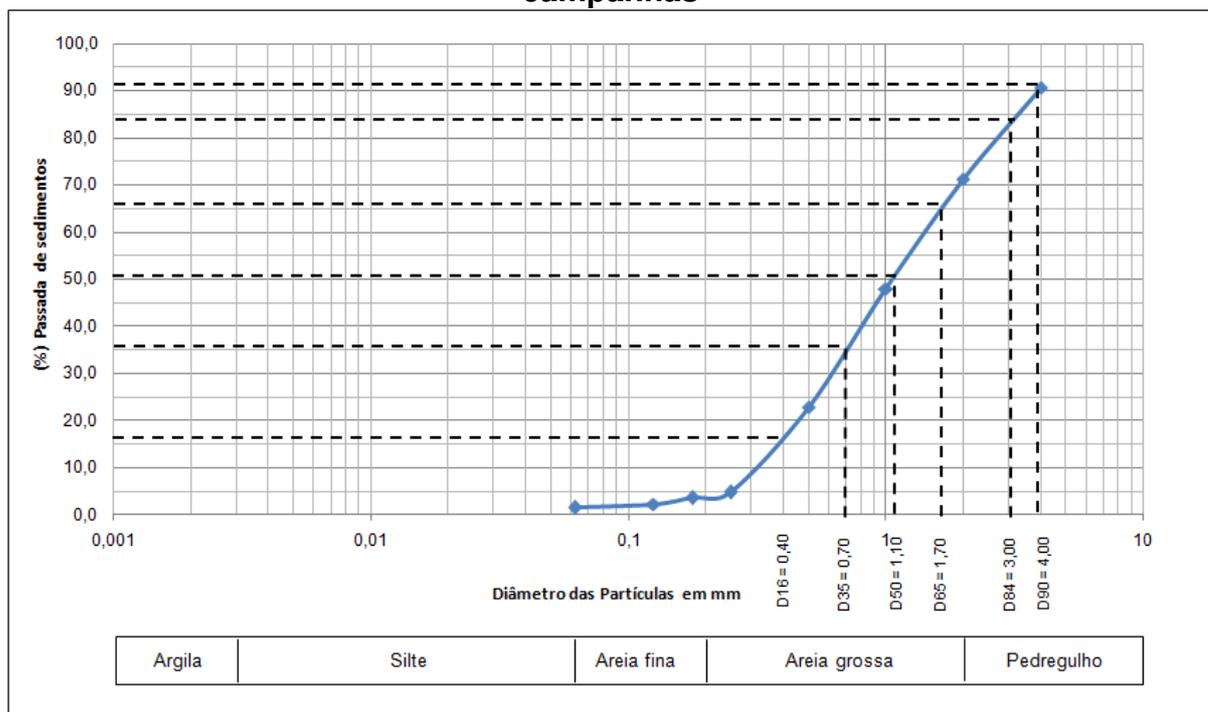
Tabela 5 - Porcentagens passadas nos diâmetros das peneiras granulométricas de sedimentos do material de fundo

Medição	Data da campanha	D(5)	D(10)	D(18)	D(35)	D(60)	D(80)	D(120)	D(230)	D < 230 (coletor)
1	20/11/2012	93,343	78,593	55,209	33,512	5,059	4,811	1,318	0,954	0,886
2	26/12/2012	85,683	64,777	47,377	31,151	15,549	14,449	8,670	4,015	1,582
3	31/01/2013	87,337	69,882	47,375	23,125	2,642	2,243	0,841	0,642	0,570
4	28/02/2013	84,187	58,358	32,852	7,444	0,694	0,547	0,505	0,478	0,465
5	19/03/2013	91,322	59,791	26,502	7,059	2,559	2,085	1,875	1,843	1,795
6	22/03/2013	92,532	74,777	55,567	29,910	4,064	2,101	1,071	0,837	0,786
7	26/03/2013	94,759	68,111	38,976	11,668	6,145	4,732	3,918	3,691	3,353
8	27/03/2013	91,228	73,204	47,427	19,040	3,399	3,111	1,890	1,167	0,697
9	28/03/2013	87,884	68,081	43,310	13,373	1,985	1,277	1,003	0,809	0,743
10	30/03/2013	94,553	77,381	56,233	31,257	5,002	2,342	1,512	1,014	0,876
11	02/04/2013	90,122	74,950	51,021	23,384	4,988	3,866	2,867	2,034	1,805
12	10/04/2013	94,068	80,114	58,979	32,219	4,382	3,838	1,901	0,931	0,567
13	15/04/2013	90,773	75,474	52,102	26,817	3,894	2,488	1,817	1,192	1,066
14	25/04/2013	92,578	77,059	60,611	33,064	7,242	3,973	2,220	1,180	0,967
15	14/05/2013	90,586	69,145	46,644	20,763	3,920	2,606	1,711	1,098	0,926
Média		90,863	71,841	48,943	23,739	4,990	3,722	2,242	1,464	1,142

Legenda: D(5): peneira nº 5 com abertura de malha 4 mm; D(10): peneira nº 10 com abertura de malha 2 mm; D(18): peneira nº 18 com abertura de malha 1 mm; D(35): peneira nº 35 com abertura de malha 0,5 mm; D(60): peneira nº 60 com abertura de malha 0,25 mm; D(80): peneira nº 80 com abertura de malha 0,177 mm; D(120): peneira nº 120 com abertura de malha 0,125 mm e D(230): peneira nº 230 com abertura de malha 0,062 mm.

Fonte: Dados da pesquisa

Figura 20 - Curva granulométrica média do material de fundo das quinze campanhas



Fonte: Dados da pesquisa

Observando a Figura 20 percebe-se que os diâmetros característicos são $D_{16} = 0,4\text{mm}$, $D_{35} = 0,70\text{mm}$, $D_{50} = 1,1\text{mm}$, $D_{65} = 1,7\text{mm}$, $D_{84} = 3,0\text{mm}$ e $D_{90} = 4,0\text{mm}$. Conhecendo os diâmetros característicos dos sedimentos de fundo e de outros parâmetros hidrossedimentológicos do Rio Piranhas, pode-se então, obter em outros estudos a descarga sólida de arrasto.

Alguns modelos podem ser aplicados para encontrar a descarga sólida de arrasto, os quais foram selecionados por Stevens e Yang, citado por Carvalho (2008, p. 239) que são as fórmulas de Schoklitsch, a de Einstein e Brown, a de Kalinske, a de Meyer-Peter e Muller e a de Rottner.

4.3. Relação Granulométrica do Material Sólido em Suspensão e do Leito

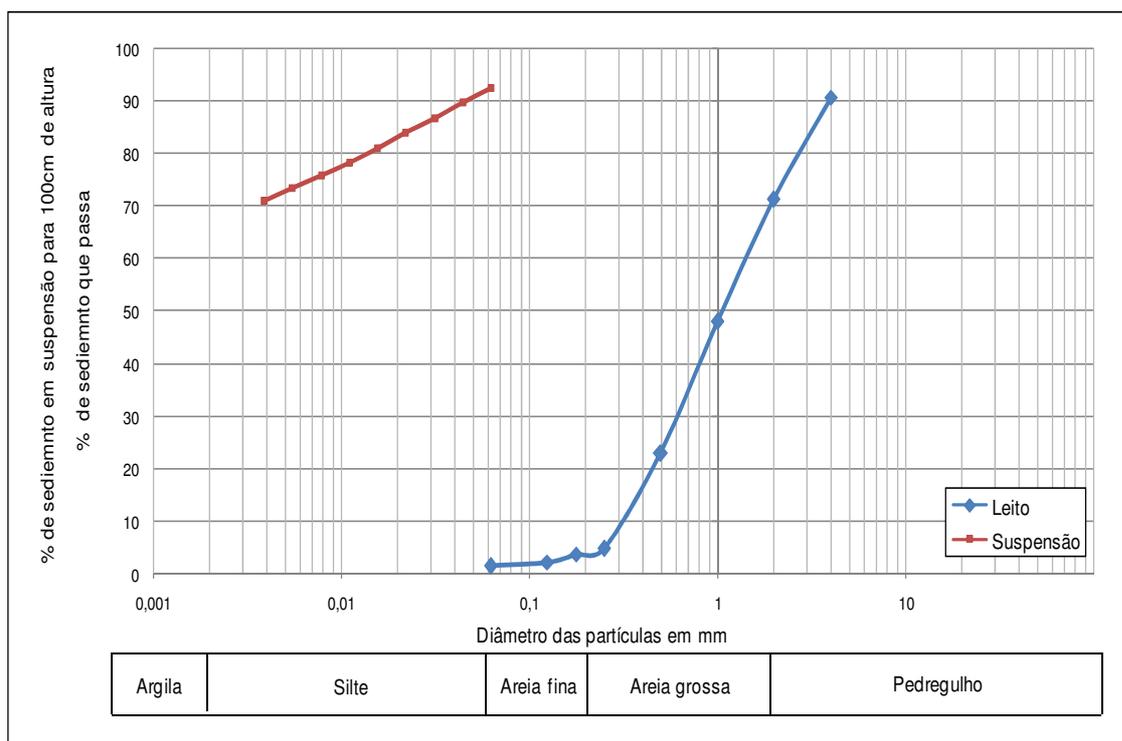
Com as determinações das granulometrias dos sedimentos sólidos em suspensão e do material do leito, foi construído um gráfico que relaciona esses dois tipos de material, conforme a Figura 21.

Observa-se na Figura 21 de forma direta, a relação do tipo de material que está sendo carregado no Rio Piranhas para o período de estudo, como já fora citados

nos itens 4.1.2 e 4.2.1, cuja granulometria do material em suspensão é constituída de silte e argila, enquanto no leito é de pedregulho a areia fina.

Carvalho (2008) afirma que muitos problemas derivados da erosão e sedimentação são resolvidos pelo conhecimento da granulometria do material transportado.

Figura 21 - Curvas granulométricas médias dos sedimentos sólidos em suspensão e do material do leito do Rio Piranhas



Fonte: Dados da pesquisa

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

A concentração de material transportado no Rio Piranhas está diretamente relacionado com a quantidade de precipitações, ou seja, as maiores concentrações de sedimentos em suspensão foram medidas no período chuvoso, sendo o maior valor (161,99 mg L⁻¹) registrado na primeira medição do mês de março, início da época chuvosa.

Tanto no período de estiagem quanto no período chuvoso, as curvas chaves de descarga sólida em suspensão e total apresentaram bons coeficientes de determinação, sendo, respectivamente, 0,8123 e 0,8149 no primeiro período e 0,9030 e 0,9370, no segundo.

Os tipos de materiais sólidos suspensos que foram carregados e/ou depositados no Rio Piranhas durante o período de estudo, eram constituídos de silte e argila, enquanto o material sólido de fundo variou de pedregulho a areia fina.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos bons ajustes das curvas, é preciso realizar mais campanhas de medições, principalmente na época chuvosa para se ter uma análise mais consistente da quantificação da concentração e da granulometria dos sedimentos.

As determinações destas curvas chaves do Rio Piranhas permitirá maior facilidade de trabalhos futuros a respeito da avaliação da descarga de sedimentos na bacia.

Espera-se, com este estudo, ter contribuído para a compreensão e a difusão do conhecimento do aporte e transporte de sedimentos do Rio Piranhas, servindo como um ponto de partida para outros trabalhos dessa natureza.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Comitê Piranhas-Açu**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/comites/piranhasacu/>>. Acesso em: 25 mar. 2013.
- BARROS, C. A. P. de. **Comportamento Hidrossedimentológico de uma Bacia Hidrográfica Rural Utilizando Técnicas de Monitoramento e Modelagem**. 2012. 179f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2012.
- BERLAMONT, J.; OCKENDEN, M.; TOORMAN, E.; WINTERWERP, J. A. **Caracterização das propriedades sedimentar**. Engenharia Costeira, p.110-128, 1993.
- BRITO, R. N. R.; ASP, N. E.; BEASLEY, C. R.; SANTOS, H. S. S. **Características sedimentares fluviais associadas ao grau de preservação da mata ciliar - rio Urumajó, nordeste paraense**. Revista Acta Amazônica, V.39, N. 1, p. 173-180, 2009.
- BROWN, By A. M. **Nonlinear regression analysis of data using a spreadsheet**. Application Note, 2001. p. 58-60.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000. 154p.
- CARVALHO, N. O.; IDE, C. N.; VAL, L. A. A.; RONDON, M. A. C.; BARBEDO, A. G. A.; CYBIS, L. F. A. **Riscos devido à degradação e agradação de solos na bacia do alto Paraguai**. In: Anais do XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - João Pessoa-PB. ABRH, 2005. CD-Rom.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: INTERCIÊNCIA, 2008. 599p.
- CARVALHO, T. M. de. **Quantificação dos Sedimentos em Suspensão e de Fundo no Médio Rio Araguaia**. Rev.Geogr. Acadêmica, v.1 n.1, p. 55-64, 2007.
- CAMPOS, R.; FREITAS, P. R. de F. **Características granulométricas e descarga de sedimentos em uma bacia urbana: O Rio Maranguapinho no Ceará**. In: I Simpósio de recursos hídricos do Norte e Centro-Oeste, 2007, Cuiabá. Anais do I Simpósio de recursos hídricos do Norte e Centro-Oeste Cuiabá, 2007.
- CBHRPPA – **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó Piranhas Acú**. Disponível em: <<http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/site/a-bacia/>>. Acesso em: 17 de jun. 2013.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R; MAYS, L. M. **MecGraw-Hill series in water resources and environmental engineering**. United States. Applied Hydrology: McGraww- Hill, 1998. p.565.

COBANER, M.; UNAL, B.; KISI, O. **Suspended sediment concentration estimation by an adaptive neuro - fuzzy and neural network approaches using hydro-meteorological data.** J. of Hydrology, 367(1-2), 52-61. 2009.

CUNHA FILHO, M.; CANTALICE, J. R. B.; STOSIC, B.; ARAÚJO, A. M.; PISCOYA, V. C.; ALVES, P. S. **Produção de sedimentos em suspensão da bacia hidrográfica do riacho exu no semiárido pernambucano.** Anais do IX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. Brasília- DF, 2010.

GAMARO, P. E. **Medidores acústicos Doppler de vazão.** 1. Ed. 2012. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2012. p.164.

GARCIA, G. E. **Implementação de modelo numérico para avaliação do transporte de sedimentos no reservatório de Itaipu – PR.** 2008. 125f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Curitiba-PR.

GOMES, R. J.; JUNIOR, V. de P. e S.; MONTENEGRO, A. A. A. SILVA, T. P. N. da . **Avaliação da descarga líquida e sólida em seção natural da bacia do alto Ipanema-PE.** In: Anais da IX JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – Recife-PE. UFRPE, 2009. CD-Rom.

GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N. P.; LARAQUE, A. **Régime et bilan du flux sédimentaire de l'Amazone à Óbidos (Pará, Brésil) de 1995 à 2003.** In: WALLING, D. E.; CHOROWITZ, A.J. Sediment budgets. PUBLICATION OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGICAL SCIENCES – IAHS, 2005. v. 291, p. 347-354.

HOVIUS, N. **Controls on sediment supply by large rivers.** In: RELATIVE ROLE OF EUSTASY, Climate, and Tectonism in Continental Rocks. Society of Sedimentary Geology, Special Publication, 1998. n.59, p.3-16.

LIMA, J. E. F. W. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia do rio São Francisco.** Embrapa Cerrados; Brasília-DF: ANEEL-ANA, 2001.

LIMA, J. E. F. W.; SANTOS, P. M. C.; CARVALHO, N. de O.; SILVA, E. M. da. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia Araguaia - Tocantins.** Embrapa Cerrados; Brasília-DF: ANA-ANEEL, 2003. p.116.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. **Seleção de modelos para o traçado de curvas granulométricas de sedimentos em suspensão em rios.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, V. 11, N. 1, p. 101-107, 2007.

MACHADO, W.; STIPP, N. A. F. **Caracterização do manejo de solo na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Apertados - PR.** Revista Geografia, v. 20, n. 2, jul./dez. Londrina-PR, 2003.

MARCONDES, C. R. **Estudo de descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Sapucaí**. 2011. 78f. Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia da Energia). Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia Itajubá – MG.

MELO, R. O.; CANTALICE, J. R. B.; ARAÚJO, A. M.; CUNHA FILHO, M. **Produção de sedimento suspenso de uma típica bacia hidrográfica semiárida**. Anais do VIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. Campo Grande-MS, 2008.

PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D.; PARANHOS, R. M. **Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais**. IV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001. v.1, p. 35-51.

SEMA – **Secretária do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=54>. Acesso em: 17 jun. 2013.

SILVA, R. C. V.; WILSON JÚNIOR, G. **Hidráulica fluvial**. Rio de Janeiro: Instituto Alberto Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. v. 2, 2005, 256 p.

SIMPSON, M. R. **Discharge measurement using a broad-band acoustic doppler current**. United States Geological Survey – USGS, Open-file: 2001, Report 01-1.

SONTEK. **Manual do Sistema RiverSurveyor S5/M9 versão de software 1.0. 9940 summers ridge road**. San Diego, CA 92121-3091 EUA, 2009, 131 p.

SOUZA, W. L. da S. **Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do rio capibaribe para zona costeira da região metropolitana do Recife**. 2011. 136f. Dissertação (Mestre em Mestre em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Recife – PE.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental do Local**, Revista UNIARA - Centro Universitário de Araraquara, n. 20, p.137-157, 2007.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, 4. ed. Porto Alegre – RS: Editora da Universidade Federal Rio Grande do Sul, ABRH - v. 4, Porto Alegre – RS, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

WALLING, D. E. **Measuring sediment yield from a river basin**. In: Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society, 1994. v.11, p. 39-80.

APÊNDICE

**APÊNDICE A – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO
PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 20 DE NOVEMBRO DE 2012**

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 20/11/2012 Nº da amostra: 01						Altura da coluna (cm): 52,0 Menos CuSO ₄ (ml): 0,0 Concentração (mg/L): 8,8							
Temperatura (°C)	Tempo		Alt. de queda (cm)	Altura da coluna a retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedim. em suspensão o p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedim. em suspen.	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	Sedimento	Acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29,6	09:00:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,6	09:01:00	1	90	9,5	1	55,4429	55,4476	0,0047	0,0231	1	0,0231	100	0
29,6	09:02:00	2	80	10	2	54,6263	54,6282	0,0019	0,0184	1,1050	0,0203	88,0151	1,1050
29,6	09:04:00	4	70,1	10,2	3	53,2095	53,2149	0,0054	0,0165	1,2422	0,0205	88,7311	2,4845
29,9	09:08:00	8	60	10,3	4	53,6803	53,6818	0,0015	0,0111	1,4225	0,0158	68,3527	5,6899
29,7	09:13:00	13	50,1	10	5	53,0212	53,0223	0,0011	0,0096	1,6667	0,0160	69,2641	13,3333
29,1	09:32:00	32	39,9	10	6	53,1038	53,1068	0,003	0,0085	2	0,0170	73,5931	26
28,5	10:20:00	80	30	10	7	52,1115	52,1125	0,001	0,0055	2,5	0,0138	59,5238	80
30,6	11:40:00	160	20	10	8	52,9116	52,9128	0,0012	0,0045	3,3333	0,0150	64,9351	266,666667
32,7	16:30:00	450	10	10	9	52,0805	52,0819	0,0014	0,0033	5	0,0165	71,4286	800
32,4	16:31:00	451	0	10	10	51,8626	51,8645	0,0019	0,0019	10	0,0190	82,2511	4500
30,12	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,517	52,5187	0,0017	-	-	-	-	-

APÊNDICE B – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 26 DE DEZEMBRO DE 2012

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 26/12/2012 Nº da amostra: 02						Altura da coluna (cm): 69,5 Menos CuSO ₄ (ml): 0,0 Concentração (mg/L): 2,53							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10) ⁽¹¹⁾	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3) ⁽¹¹⁾
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
32,2	01:33:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32,2	01:34:00	1	90,5	9,5	1	55,4437	55,4478	0,0041	0,0269	1	0,0269	100	0
32	01:35:00	2	80,5	10	2	54,631	54,6340	0,0030	0,0228	1,1050	0,0252	93,6557	1,1050
32,1	01:37:00	4	70,5	10	3	53,0542	53,0567	0,0025	0,0198	1,2422	0,0246	91,4360	2,4845
32,3	01:41:00	8	60	10,5	4	53,2158	53,2183	0,0025	0,0173	1,4184	0,0245	91,2231	5,6738
32,4	01:46:00	13	50	10	5	53,399	53,4023	0,0033	0,0148	1,6667	0,0247	91,6976	13,3333
33,1	02:05:00	32	40	10	6	53,8879	53,8908	0,0029	0,0115	2	0,0230	85,5019	26
33,2	02:53:00	80	30	10	7	52,8878	52,8905	0,0027	0,0086	2,5	0,0215	79,9257	80
33,3	04:13:00	160	20	10	8	52,7829	52,7849	0,0020	0,0059	3,3333	0,0197	73,1103	266,6667
31,1	09:03:00	450	10	10	9	52,0839	52,0860	0,0021	0,0039	5	0,0195	72,4907	800
31,1	09:04:00	451	0	10	10	51,231	51,2328	0,0018	0,0018	10	0,0180	66,9145	4500
32,27	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,5224	52,5237	0,0017	-	-	-	-	-

APÊNDICE C – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 31 DE JANEIRO DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 31/01/2013 Nº da amostra: 03						Altura da coluna (cm): 74,5 Menos CuSO ₄ (ml): 0,0 Concentração (mg/L): 7,32							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10) ³ (11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3) ³ (11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30,2	10:32:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30,2	10:33:00	1	90,5	9,5	1	55,4551	55,4646	0,0095	0,0799	1	0,0799	100	0
29,4	10:34:00	2	80,5	10	2	54,6398	54,651	0,0112	0,0704	1,1050	0,0778	97,3593	1,1050
30,7	10:36:00	4	70,5	10	3	53,0642	53,0741	0,0099	0,0592	1,2422	0,0735	92,0405	2,4845
30,6	10:40:00	8	60	10,5	4	53,2262	53,2362	0,01	0,0493	1,4184	0,0699	87,5207	5,6738
31,5	10:45:00	13	50	10	5	53,408	53,4172	0,0092	0,0393	1,6667	0,0655	81,9775	13,3333
32,5	11:04:00	32	40	10	6	53,8963	53,9048	0,0085	0,0301	2	0,0602	75,3442	26
33,1	11:52:00	80	30	10	7	52,8929	52,8977	0,0048	0,0216	2,5	0,0540	67,5845	80
33,9	13:12:00	160	20	10	8	52,7903	52,7972	0,0069	0,0168	3,3333	0,0560	70,0876	266,6667
33,8	18:02:00	450	10	10	9	52,089	52,0931	0,0041	0,0099	5	0,0495	61,9524	800
33,8	18:03:00	451	0	10	10	51,236	51,2418	0,0058	0,0058	10	0,0580	72,5907	4500
31,79	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,5201	52,5209	0,0008	-	-	-	-	-

APÊNDICE D – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 28 DE FEVEREIRO DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 28/02/2013 Nº da amostra: 04						Altura da coluna (cm): 94,0 Menos CuSO ₄ (ml): 10,0 Concentração (mg/L): 8,59							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29,8	07:40:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,8	07:41:00	1	90,2	9,8	1	55,4416	55,4612	0,0196	0,0867	1	0,0867	100	0
29,9	07:42:00	2	80,4	9,8	2	54,6257	54,6365	0,0108	0,0671	1,1086	0,0744	85,8019	1,1086
29,7	07:44:00	4	70,3	10,1	3	53,0511	53,06	0,0089	0,0563	1,2438	0,0700	80,7669	2,4876
29,8	07:48:00	8	60	10,3	4	53,2129	53,2213	0,0084	0,0474	1,4225	0,0674	77,7685	5,6899
29,7	07:53:00	13	49,8	10,2	5	53,3957	53,4045	0,0088	0,039	1,6667	0,0650	74,9712	13,3333
29,8	08:12:00	32	40	9,8	6	53,8843	53,8922	0,0079	0,0302	2,0080	0,0606	69,9453	26,1044
30	09:00:00	80	30	10	7	52,8853	52,8925	0,0072	0,0223	2,5	0,0558	64,3022	80
30,1	10:20:00	160	20	10	8	52,7805	52,7872	0,0067	0,0151	3,3333	0,0503	58,0546	266,6667
31,2	15:10:00	450	10	10	9	52,0811	52,0855	0,0044	0,0084	5	0,042	48,4429	800
31,2	15:11:00	451	0	10	10	52,5194	52,5234	0,004	0,004	10	0,04	46,1361	4500
26,88	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,5194	52,5286	0,0092	-	-	-	-	-

APÊNDICE E – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 19 DE MARÇO DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 19/03/2013 Nº da amostra: 05						Altura da coluna (cm): 80,5 Menos CuSO ₄ (ml): 5,0 Concentração (mg/L): 161,99							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
26,8	12:30:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,8	12:31:00	1	90	10	1	51,6435	51,792	0,1485	0,7726	1	0,7726	100	0
27,1	12:32:00	2	80	10	2	54,6269	54,7525	0,1256	0,6241	1,1111	0,6934	89,7547	1,1111
27	12:34:00	4	70,1	9,9	3	53,0534	53,1717	0,1183	0,4985	1,2500	0,6231	80,6530	2,5
27	12:38:00	8	60	10,1	4	53,2156	53,2965	0,0809	0,3802	1,4265	0,5424	70,2004	5,7061
27	12:43:00	13	50,1	9,9	5	53,0596	53,1217	0,0621	0,2993	1,6667	0,4988	64,5655	13,3333
26,7	13:02:00	32	39,9	10,2	6	53,8857	53,9533	0,0676	0,2372	1,9960	0,4735	61,2805	25,9481
26,3	13:50:00	80	30	9,9	7	52,887	52,9471	0,0601	0,1696	2,5063	0,4251	55,0172	80,2005
25,5	15:10:00	160	20	10	8	52,7828	52,8319	0,0491	0,1095	3,3333	0,3650	47,2431	266,6667
27,7	20:00:00	450	10	10	9	52,0838	52,1189	0,0351	0,0604	5	0,3020	39,0888	800
27,8	20:01:00	451	0	10	10	51,2293	51,2546	0,0253	0,0253	10	0,2530	32,7466	4500
26,88	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,5224	52,549	0,0266	-	-	-	-	-

APÊNDICE F – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 22 DE MARÇO DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 22/03/2013 Nº da amostra: 06						Altura da coluna (cm): 87 Menos CuSO ₄ (ml): 6,0 Concentração (mg/L): 83,38							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
27,7	10:02:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27,7	10:03:00	1	90,2	9,8	1	52,922	52,9767	0,0547	0,4776	1	0,4776	100	0
28,1	10:04:00	2	80,3	9,9	2	52,1232	52,1783	0,0551	0,4229	1,1086	0,4688	98,1673	1,1086
28,3	10:06:00	4	70	10,3	3	52,4803	52,5394	0,0591	0,3678	1,2453	0,4580	95,9029	2,4907
28,2	10:10:00	8	60,1	9,9	4	52,7837	52,8389	0,0552	0,3087	1,4286	0,441	92,3367	5,7143
28	10:15:00	13	50	10,1	5	52,8732	52,9257	0,0525	0,2535	1,6639	0,4218	88,3159	13,3111
27,8	10:34:00	32	40	10	6	52,7812	52,8376	0,0564	0,201	2	0,402	84,1709	26
27,7	11:22:00	80	30	10	7	52,4953	52,5489	0,0536	0,1446	2,5	0,3615	75,6909	80
27,3	12:42:00	160	20	10	8	52,3565	52,3936	0,0371	0,091	3,3333	0,3033	63,5120	266,6667
27,7	17:32:00	450	10	10	9	52,9126	52,9431	0,0305	0,0539	5	0,2695	56,4279	800
27,7	17:33:00	451	0	10	10	52,2446	52,268	0,0234	0,0234	10	0,234	48,9949	4500
27,84	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,0825	52,1157	0,0332	-	-	-	-	-

APÊNDICE G – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 26 DE MARÇO DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 26/03/2013 Nº da amostra: 07						Altura da coluna (cm): 72,5 Menos CuSO ₄ (ml): 3,0 Concentração (mg/L): 96,58							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29,3	07:45:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,3	07:46:00	1	90,3	9,7	1	52,9214	52,941	0,0196	0,2004	1	0,2004	100	0
29,2	07:47:00	2	80,3	10	2	52,1225	52,1434	0,0209	0,1808	1,1074	0,2002	99,9109	1,1074
29,8	07:49:00	4	70,5	9,8	3	52,4794	52,5008	0,0214	0,1599	1,2453	0,1991	99,3654	2,4907
29,1	07:53:00	8	60	10,5	4	52,7826	52,8047	0,0221	0,1385	1,4184	0,1965	98,0309	5,6738
29	07:58:00	13	50	10	5	52,8725	52,8925	0,02	0,1164	1,6667	0,1940	96,8064	13,3333
28,6	08:17:00	32	40	10	6	52,7805	52,8016	0,0211	0,0964	2	0,1928	96,2076	26
28,9	09:05:00	80	29,8	10,2	7	52,4942	52,5142	0,02	0,0753	2,5	0,1883	93,9371	80
28,9	10:25:00	160	20	9,8	8	52,356	52,3742	0,0182	0,0553	3,3557	0,1856	92,6000	268,4564
28,3	15:15:00	450	10	10	9	52,9116	52,9295	0,0179	0,0371	5	0,1855	92,5649	800
28,4	15:16:00	451	0	10	10	52,2433	52,2625	0,0192	0,0192	10	0,1920	95,8084	4500
28,98	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,0809	52,0953	0,0144	-	-	-	-	-

APÊNDICE H – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 27 DE MARÇO DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 27/03/2013 Nº da amostra: 08						Altura da coluna (cm): 85 Menos CuSO ₄ (ml): 6,0 Concentração (mg/L): 45,48							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29,2	07:20:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,2	07:21:00	1	90,2	9,8	1	52,9243	52,9526	0,0283	0,2606	1	0,2606	100	0
29,1	07:22:00	2	80,1	10,1	2	52,122	52,1519	0,0299	0,2323	1,1086	0,2575	98,8253	1,1086
29	07:24:00	4	70,2	9,9	3	52,4796	52,5097	0,0301	0,2024	1,2484	0,2527	96,9625	2,4969
28,9	07:28:00	8	60	10,2	4	52,7826	52,8105	0,0279	0,1723	1,4245	0,2454	94,1833	5,6980
28,9	07:33:00	13	50	10	5	52,872	52,9	0,028	0,1444	1,6667	0,2407	92,3510	13,3333
28,9	07:52:00	32	40	10	6	52,7802	52,8071	0,0269	0,1164	2	0,2328	89,3323	26
28,5	08:40:00	80	30	10	7	52,4939	52,5186	0,0247	0,0895	2,5	0,2238	85,8596	80
28,8	10:00:00	160	20	10	8	52,3553	52,3796	0,0243	0,0648	3,3333	0,2160	82,8856	266,6667
28,3	14:50:00	450	10	10	9	52,9113	52,9321	0,0208	0,0405	5	0,2025	77,7053	800
28,5	14:51:00	451	0	10	10	52,245	52,2647	0,0197	0,0197	10	0,1970	75,5948	4500
28,85	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,0806	52,1093	0,0287	-	-	-	-	-

**APÊNDICE I – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS,
MEDIÇÃO REALIZADA EM 28 DE MARÇO DE 2013**

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas						Altura da coluna (cm): 92							
Amostra obtida em: 28/03/2013						Menos CuSO ₄ (ml): 5,0							
Nº da amostra: 09						Concentração (mg/L): 82,01							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker n°	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:ss)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28,6	07:50:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28,6	07:51:00	1	90,6	9,4	1	51,6437	51,7014	0,0577	0,408	1	0,408	100	0
28,8	07:52:00	2	80,5	10,1	2	54,6277	54,676	0,0483	0,3503	1,1038	0,3866	94,7658	1,1038
29	07:54:00	4	70	10,5	3	53,0532	53,0995	0,0463	0,302	1,2422	0,3752	91,9498	2,4845
28,6	07:58:00	8	60,2	9,8	4	53,215	53,2569	0,0419	0,2557	1,4286	0,3653	89,5308	5,7143
28,6	08:03:00	13	50	10,2	5	53,0607	53,0999	0,0392	0,2138	1,6611	0,3551	87,0464	13,2890
28,9	08:22:00	32	40	10	6	53,8852	53,9296	0,0444	0,1746	2	0,3492	85,5882	26
28,6	09:10:00	80	30	10	7	52,8863	52,9282	0,0419	0,1302	2,5	0,3255	79,7794	80
28,7	10:30:00	160	20	10	8	52,7822	52,8183	0,0361	0,0883	3,3333	0,2943	72,1405	266,6667
28,4	15:20:00	450	10	10	9	52,0829	52,1129	0,03	0,0522	5	0,261	63,9706	800
28,4	15:21:00	451	0	10	10	51,2282	51,2504	0,0222	0,0222	10	0,222	54,4118	4500
28,65	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,5213	52,5388	0,0175	-	-	-	-	-

APÊNDICE J – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 30 DE MARÇO DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 30/03/2013 Nº da amostra: 10						Altura da coluna (cm): 87,5 Menos CuSO ₄ (ml): 5,0 Concentração (mg/L): 55,25							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29,3	06:45:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,3	06:46:00	1	90,2	9,8	1	52,9225	52,9521	0,0296	0,2747	1	0,2747	100	0
29,3	06:47:00	2	80,1	10,1	2	52,4013	52,432	0,0307	0,2451	1,1086	0,2717	98,9186	1,1086
29,3	06:49:00	4	70	10,1	3	52,6895	52,7189	0,0294	0,2144	1,2484	0,2677	97,4392	2,4969
29	06:53:00	8	60	10	4	52,2153	52,2437	0,0284	0,185	1,4286	0,2643	96,2089	5,7143
29	06:58:00	13	50,1	9,9	5	52,8723	52,9002	0,0279	0,1566	1,6667	0,261	95,0127	13,3333
29,1	07:17:00	32	40	10,1	6	52,7803	52,8102	0,0299	0,1287	1,9960	0,2569	93,5152	25,9481
29	08:05:00	80	30	10	7	52,4947	52,522	0,0273	0,0988	2,5	0,247	89,9163	80
28,7	09:25:00	160	20	10	8	52,3555	52,3806	0,0251	0,0715	3,3333	0,2383	86,7613	266,6667
27,9	14:15:00	450	10	10	9	52,9115	52,935	0,0235	0,0464	5	0,232	84,4558	800
27,9	14:16:00	451	0	10	10	52,228	52,2509	0,0229	0,0229	10	0,229	83,3637	4500
28,89	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,5217	52,5387	0,017	-	-	-	-	-

APÊNDICE K – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 02 DE ABRIL DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 02/04/2013 Nº da amostra: 11						Altura da coluna (cm): 85,5 Menos CuSO ₄ (ml): 7,0 Concentração (mg/L): 32,22							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29,3	07:45:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,3	07:46:00	1	91	9	1	51,6447	51,6685	0,0238	0,2065	1	0,2065	100	0
29,2	07:47:00	2	80,5	10,5	2	54,626	54,6502	0,0242	0,1827	1,0989	0,2008	97,2248	1,0989
29	07:49:00	4	70,5	10	3	52,4801	52,504	0,0239	0,1585	1,2422	0,1969	95,3484	2,4845
28,8	07:53:00	8	60,2	10,3	4	52,7657	52,7875	0,0218	0,1346	1,4184	0,1909	92,4562	5,6738
28,8	07:58:00	13	50	10,2	5	53,0601	53,0813	0,0212	0,1128	1,6611	0,1874	90,7387	13,2890
28,6	08:17:00	32	40	10	6	53,8859	53,9067	0,0208	0,0916	2	0,1832	88,7167	26
28,7	09:05:00	80	30	10	7	51,7604	51,7804	0,02	0,0708	2,5	0,177	85,7143	80
28,6	10:25:00	160	20	10	8	52,7826	52,8005	0,0179	0,0508	3,3333	0,1693	82,0016	266,6667
28	15:15:00	450	10	10	9	52,0835	52,0988	0,0153	0,0329	5	0,1645	79,6610	800
27,9	15:16:00	451	0	10	10	52,2431	52,2607	0,0176	0,0176	10	0,176	85,2300	4500
28,75	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,0808	52,1067	0,0259	-	-	-	-	-

APÊNDICE L – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 10 DE ABRIL DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 10/04/2013 Nº da amostra: 12						Altura da coluna (cm): 91,6 Menos CuSO ₄ (ml): 9,0 Concentração (mg/L): 16,71							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30,1	12:45:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30,1	12:46:00	1	90,5	9,5	1	52,9205	52,9381	0,0176	0,1536	1	0,1536	100	0
30	12:47:00	2	80,1	10,4	2	52,4005	52,4171	0,0166	0,136	1,1050	0,1503	97,8361	1,1050
29,8	12:49:00	4	70,4	9,7	3	52,6883	52,7049	0,0166	0,1194	1,2484	0,1491	97,0467	2,4969
29,7	12:53:00	8	60,1	10,3	4	52,7646	52,7822	0,0176	0,1028	1,4205	0,1460	95,0669	5,6818
29,6	12:58:00	13	50	10,1	5	53,0586	53,0749	0,0163	0,0852	1,6639	0,1418	92,2941	13,3111
29,7	13:17:00	32	40	10	6	53,8845	53,9009	0,0164	0,0689	2	0,1378	89,7135	26
29,4	14:05:00	80	30	10	7	52,4932	52,5072	0,014	0,0525	2,5	0,1312	85,4492	80
29,1	15:25:00	160	20	10	8	52,3542	52,3679	0,0137	0,0385	3,3333	0,1283	83,5503	266,6667
28,9	20:15:00	450	10	10	9	52,9095	52,921	0,0115	0,0248	5	0,124	80,7292	800
28,9	20:16:00	451	0	10	10	51,2263	51,2396	0,0133	0,0133	10	0,133	86,5885	4500
29,57	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,078	52,0935	0,0155	-	-	-	-	-

**APÊNDICE M – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO
PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 15 DE ABRIL DE 2013**

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base														
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 15/04/2013 Nº da amostra: 13						Altura da coluna (cm): 83,0 Menos CuSO ₄ (ml): 9,0 Concentração (mg/L): 15,62								
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)	
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
28,7	07:50:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28,7	07:51:00	1	90,4	9,6	1	51,6442	51,6588	0,0146	0,1441	1	0,1441	100	0	
28,6	07:52:00	2	80,1	10,3	2	54,6257	54,6413	0,0156	0,1295	1,1062	0,1433	99,4117	1,1062	
28,4	07:54:00	4	70,4	9,7	3	52,4799	52,4953	0,0154	0,1139	1,2484	0,1422	98,6796	2,4969	
28,1	07:58:00	8	60,2	10,2	4	53,2156	53,2318	0,0162	0,0985	1,4205	0,1399	97,0956	5,6818	
27,7	08:03:00	13	50	10,2	5	52,8725	52,8879	0,0154	0,0823	1,6611	0,1367	94,8723	13,2890	
27,3	08:22:00	32	40	10	6	52,7805	52,7954	0,0149	0,0669	2	0,1338	92,8522	26	
27,8	09:10:00	80	30	10	7	51,7605	51,7743	0,0138	0,052	2,5	0,13	90,2151	80	
28,7	10:30:00	160	20	10	8	52,7824	52,7949	0,0125	0,0382	3,3333	0,1273	88,3646	266,6667	
28,8	15:20:00	450	10	10	9	52,0827	52,0945	0,0118	0,0257	5	0,1285	89,1742	800	
28,8	15:21:00	451	0	10	10	52,2428	52,2567	0,0139	0,0139	10	0,139	96,4608	4500	
28,33	Média	Coleta final da lavagem do tubo:				LF	52,5219	52,5397	0,0178	-	-	-	-	-

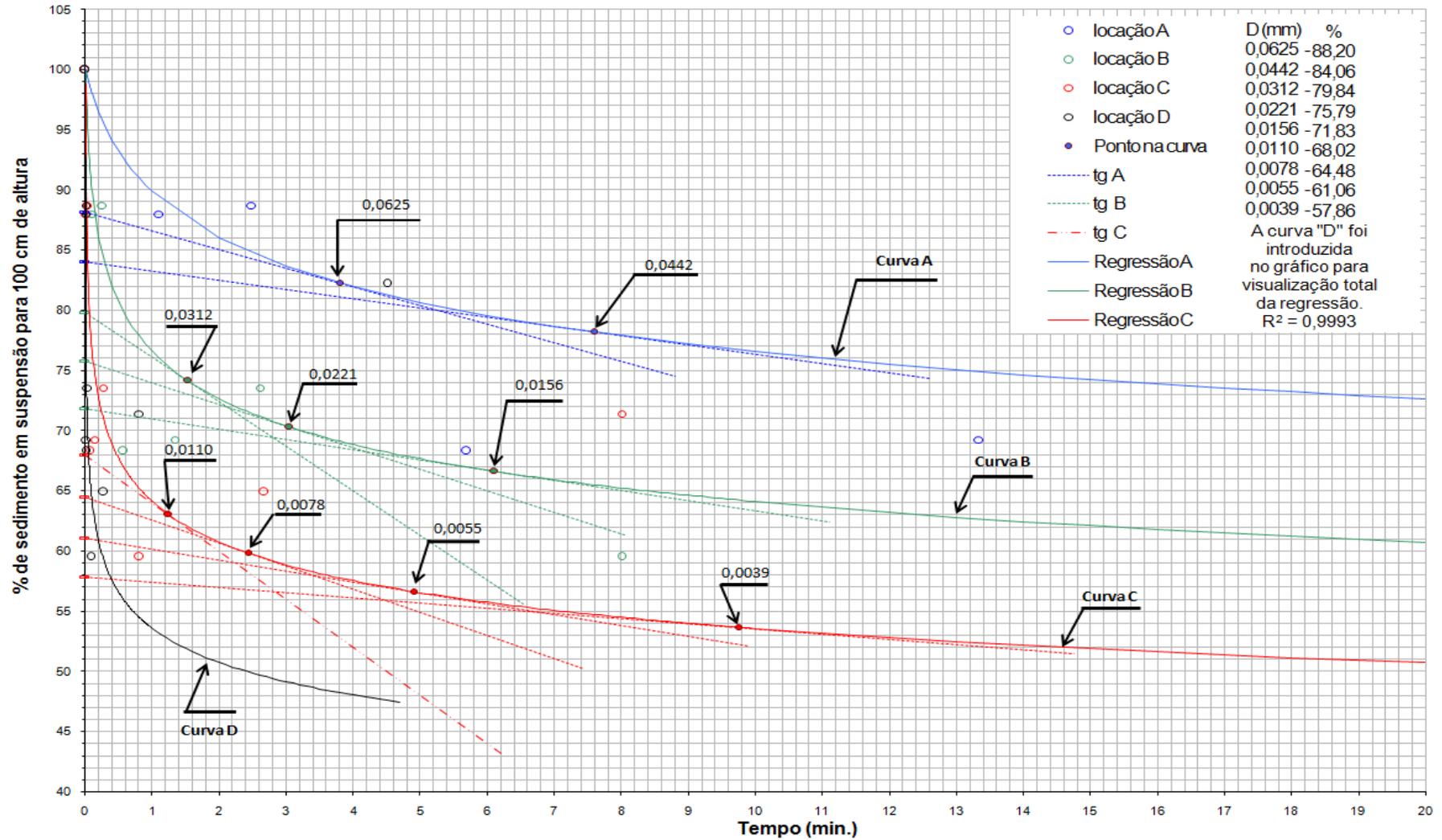
APÊNDICE N – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 25 DE ABRIL DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 25/04/2013 Nº da amostra: 14						Altura da coluna (cm): 90,2 Menos CuSO ₄ (ml): 7,0 Concentração (mg/L): 36,39							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28,1	08:10:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28,1	08:11:00	1	90	10	1	52,9224	52,9496	0,0272	0,2409	1	0,2409	100	0
27,9	08:12:00	2	80	10	2	52,4023	52,4282	0,0259	0,2137	1,1111	0,2374	98,5656	1,1111
27,8	08:14:00	4	70,3	9,7	3	52,6902	52,7156	0,0254	0,1878	1,25	0,2348	97,4471	2,5
27,6	08:18:00	8	60,2	10,1	4	52,784	52,8111	0,0271	0,1624	1,4225	0,2310	95,8945	5,6899
27,7	08:23:00	13	49,9	10,3	5	53,0602	53,0871	0,0269	0,1353	1,6611	0,2248	93,2963	13,2890
27,8	08:42:00	32	40	9,9	6	53,8856	53,9115	0,0259	0,1084	2,0040	0,2172	90,1762	26,0521
27,7	09:30:00	80	30	10	7	52,8884	52,9129	0,0245	0,0825	2,5	0,20625	85,6164	80
27,8	10:50:00	160	20	10	8	52,3557	52,3781	0,0224	0,058	3,3333	0,1933	80,2546	266,6667
28,7	15:40:00	450	10	10	9	52,9121	52,9299	0,0178	0,0356	5	0,178	73,8896	800
28,7	15:41:00	451	0	10	10	51,2283	51,2461	0,0178	0,0178	10	0,178	73,8896	4500
27,99	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,0797	52,1031	0,0234	-	-	-	-	-

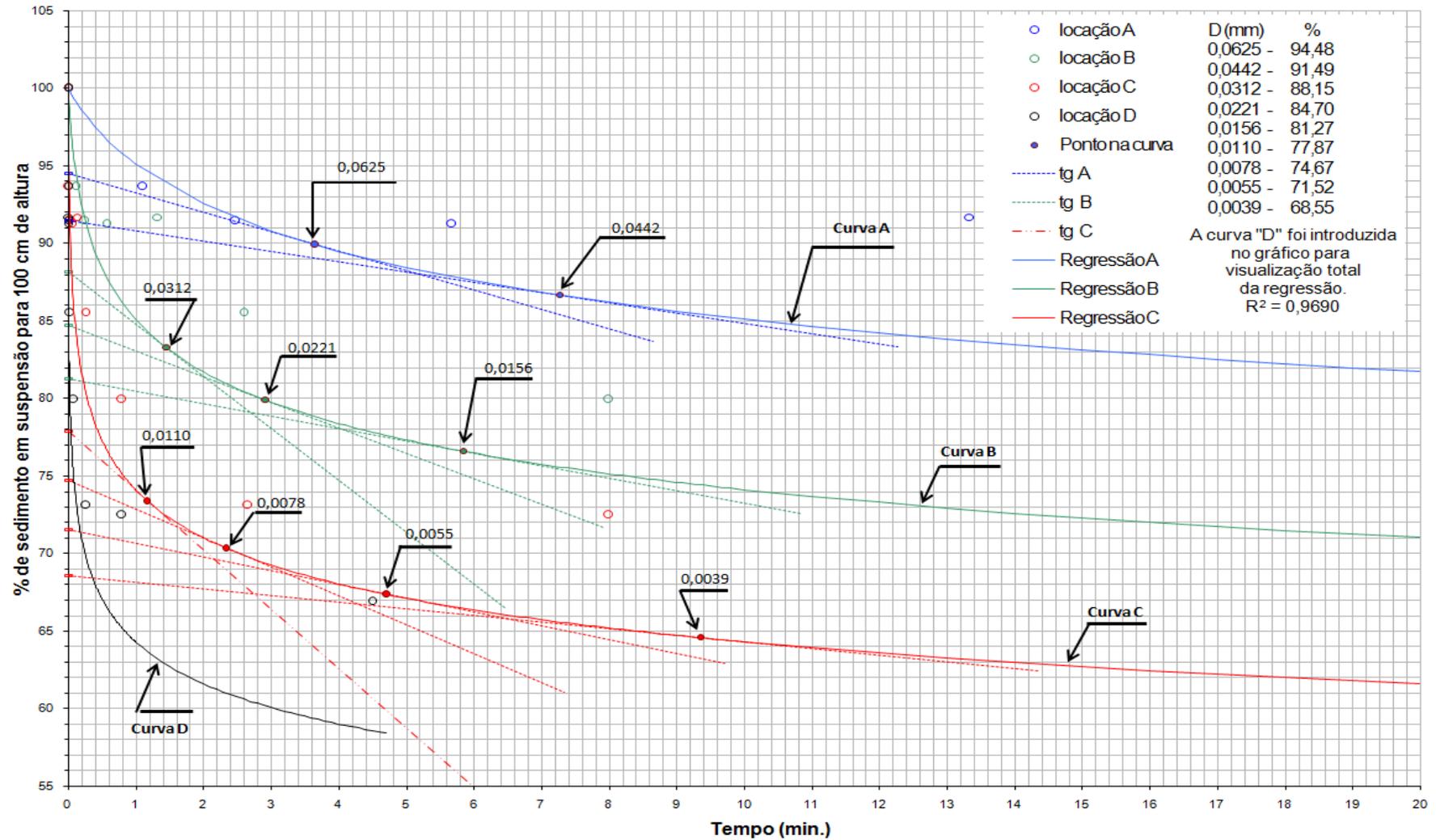
APÊNDICE O – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO DO RIO PIRANHAS, MEDIÇÃO REALIZADA EM 14 DE MAIO DE 2013

Análise granulométrica de partículas em suspensão – Tubo retirada pela base													
Rio: Piranhas Amostra obtida em: 14/05/2013 Nº da amostra: 15						Altura da coluna (cm): 88,0 Menos CuSO ₄ (ml): 6,0 Concentração (mg/L): 45,91							
Temperatura (°C)	Tempo		Altura de queda (cm)	Altura da coluna retirada (cm)	Becker nº	Peso em gramas (g)				Fator de profundidade 100/(4)	Sedimento em suspensão p/ 100 cm de queda (10)*(11)	% de sedimento em suspensão	Tempo de deposição em minutos 100 cm (3)*(11)
	Leitura (h:mm:s)	Decor. (min.)				tara	Sedimento (seco + tara)	sedimento	sedimento acumulado				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28,9	08:10:00	0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28,9	08:11:00	1	90,3	9,7	1	53,3412	53,3694	0,0282	0,2726	1	0,2726	100	0
28,9	08:12:00	2	80,2	10,1	2	52,3999	52,4278	0,0279	0,2444	1,1074	0,2707	99,2859	1,1074
28,7	08:14:00	4	70	10,2	3	52,6876	52,7161	0,0285	0,2165	1,2469	0,2700	99,0279	2,4938
28,5	08:18:00	8	60	10	4	52,7647	52,7937	0,029	0,188	1,4286	0,2686	98,5222	5,7143
28	08:23:00	13	50	10	5	53,41	53,4389	0,0289	0,159	1,6667	0,265	97,2120	13,3333
27,9	08:42:00	32	40	10	6	53,8834	53,9121	0,0287	0,1301	2	0,2602	95,4512	26
27,7	09:30:00	80	30	10	7	52,8864	52,9145	0,0281	0,1014	2,5	0,2535	92,9934	80
27,7	10:50:00	160	20	10	8	52,3532	52,3778	0,0246	0,0733	3,3333	0,2443	89,6307	266,6667
28	15:40:00	450	10	10	9	52,6184	52,6411	0,0227	0,0487	5	0,2435	89,3250	800
28	15:41:00	451	0	10	10	51,2255	51,2515	0,026	0,026	10	0,26	95,3778	4500
28,29	Média	Coleta final da lavagem do tubo:			LF	52,0765	52,0937	0,0172	-	-	-	-	-

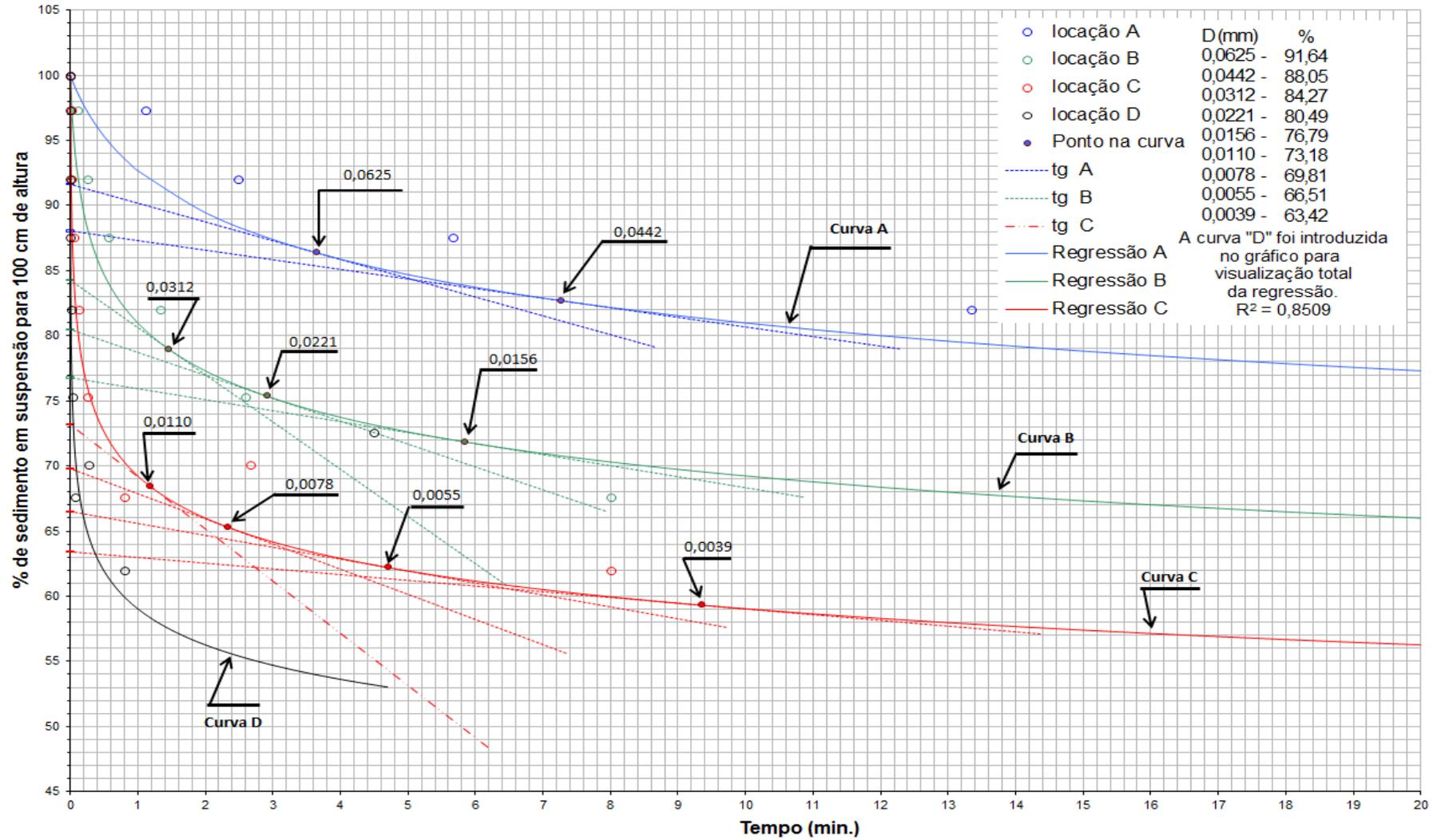
APÊNDICE P - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 20 DE NOVEMBRO DE 2012, RIO PIRANHAS



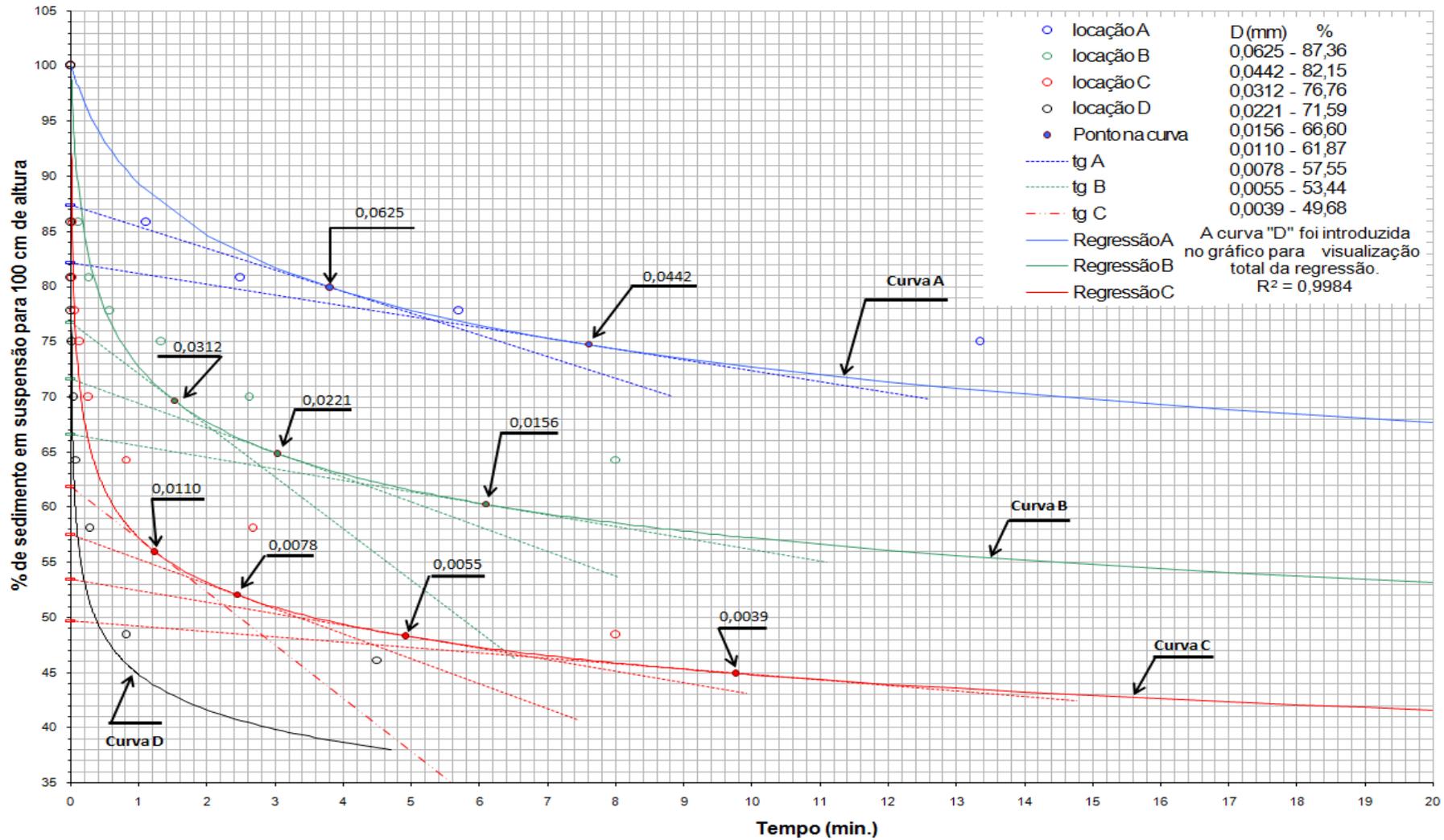
APÊNDICE Q - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 26 DE DEZEMBRO DE 2012, RIO PIRANHAS



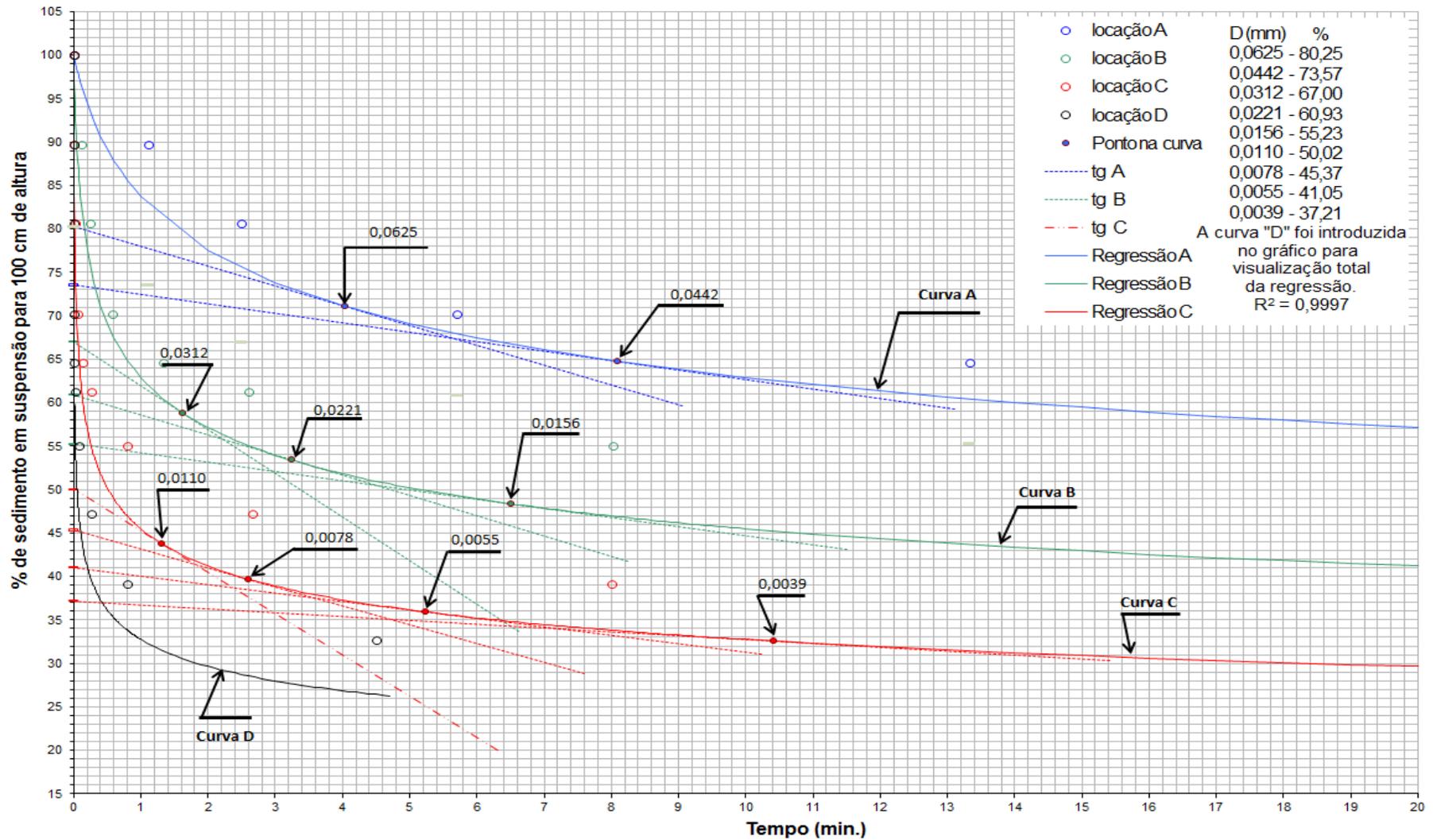
APÊNDICE R - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 31 DE JANEIRO DE 2013, RIO PIRANHAS



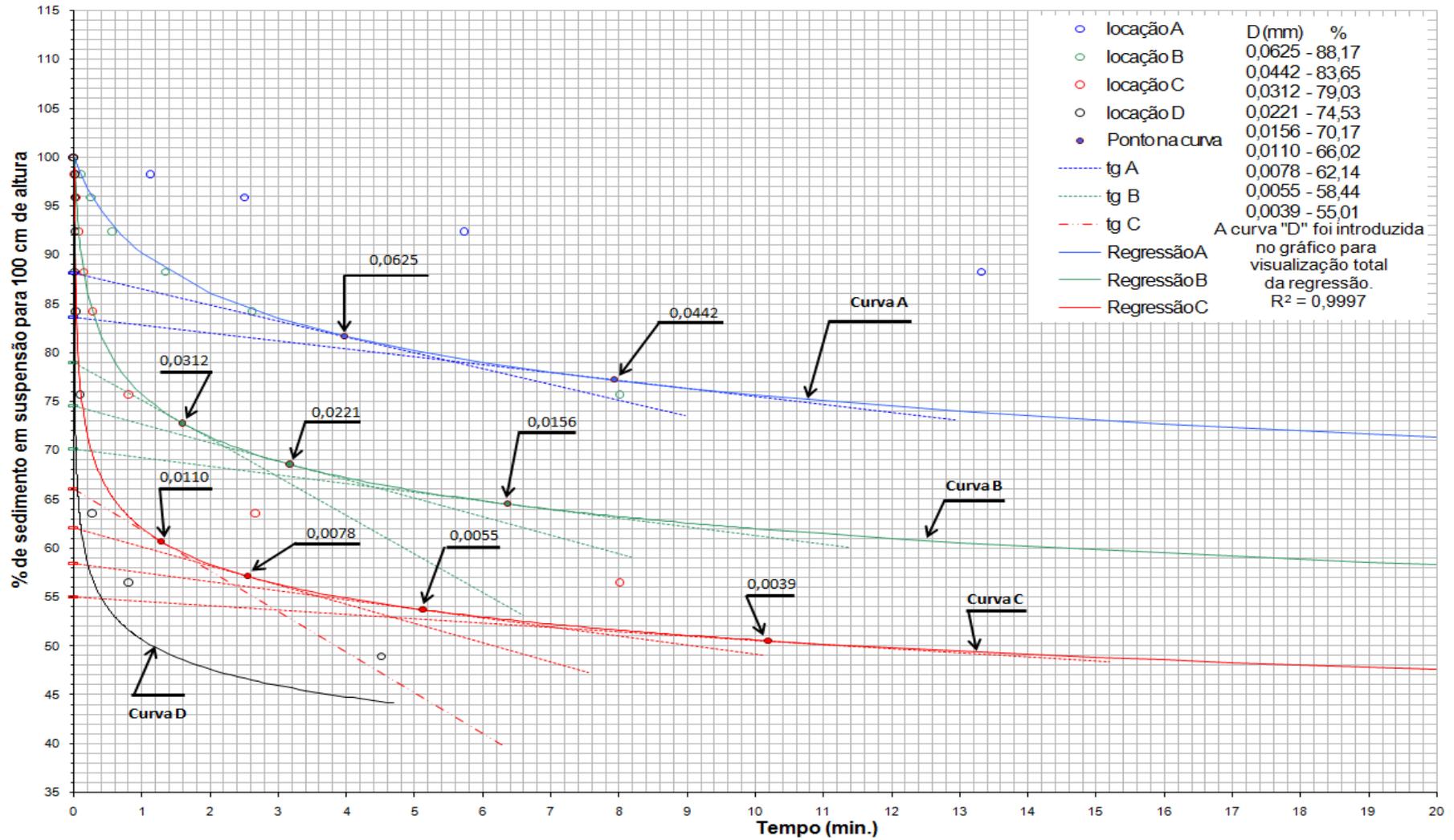
APÊNDICE S - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 28 DE FEVEREIRO DE 2013, RIO PIRANHAS



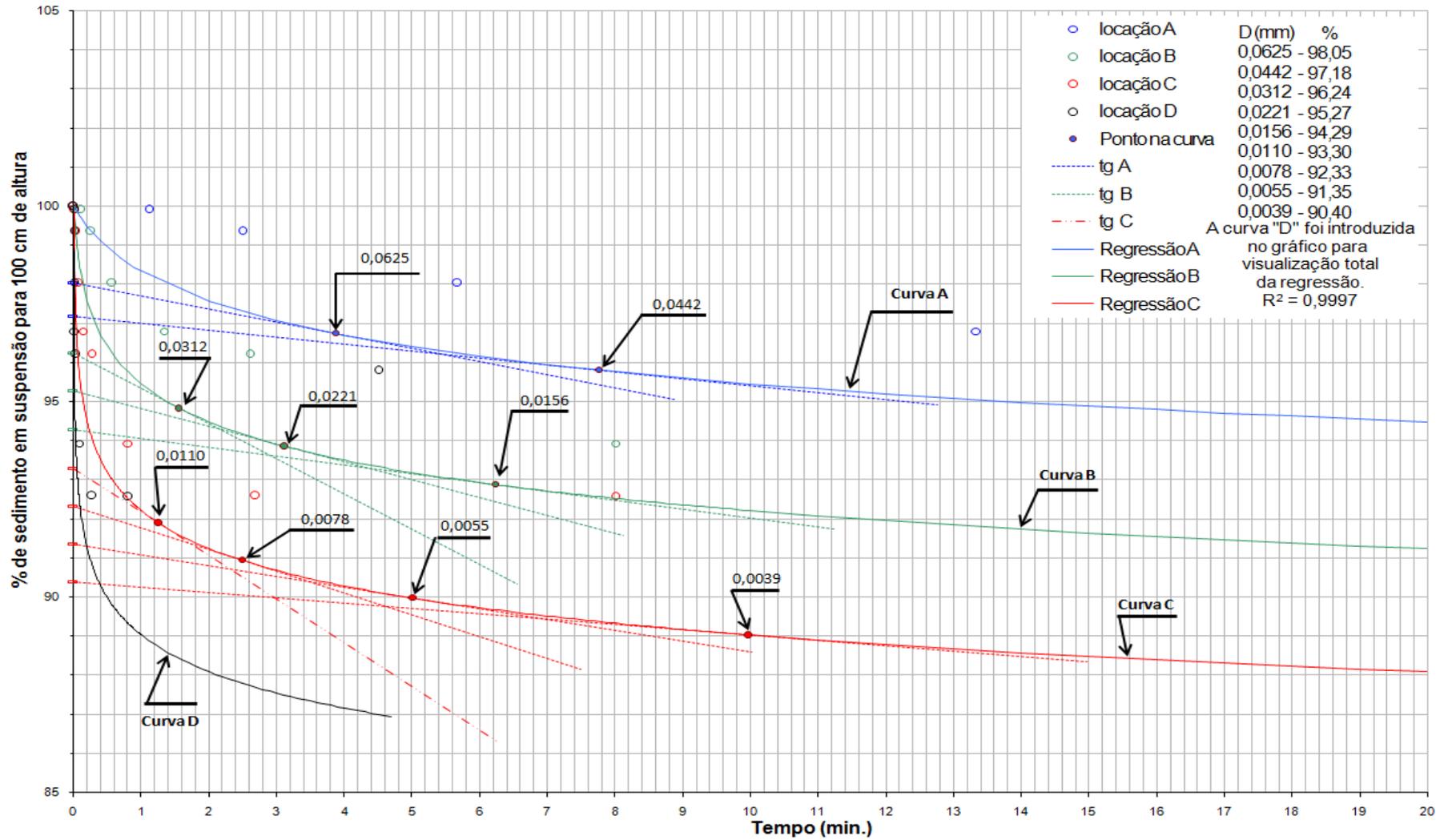
APÊNDICE T - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 19 DE MARÇO DE 2013, RIO PIRANHAS



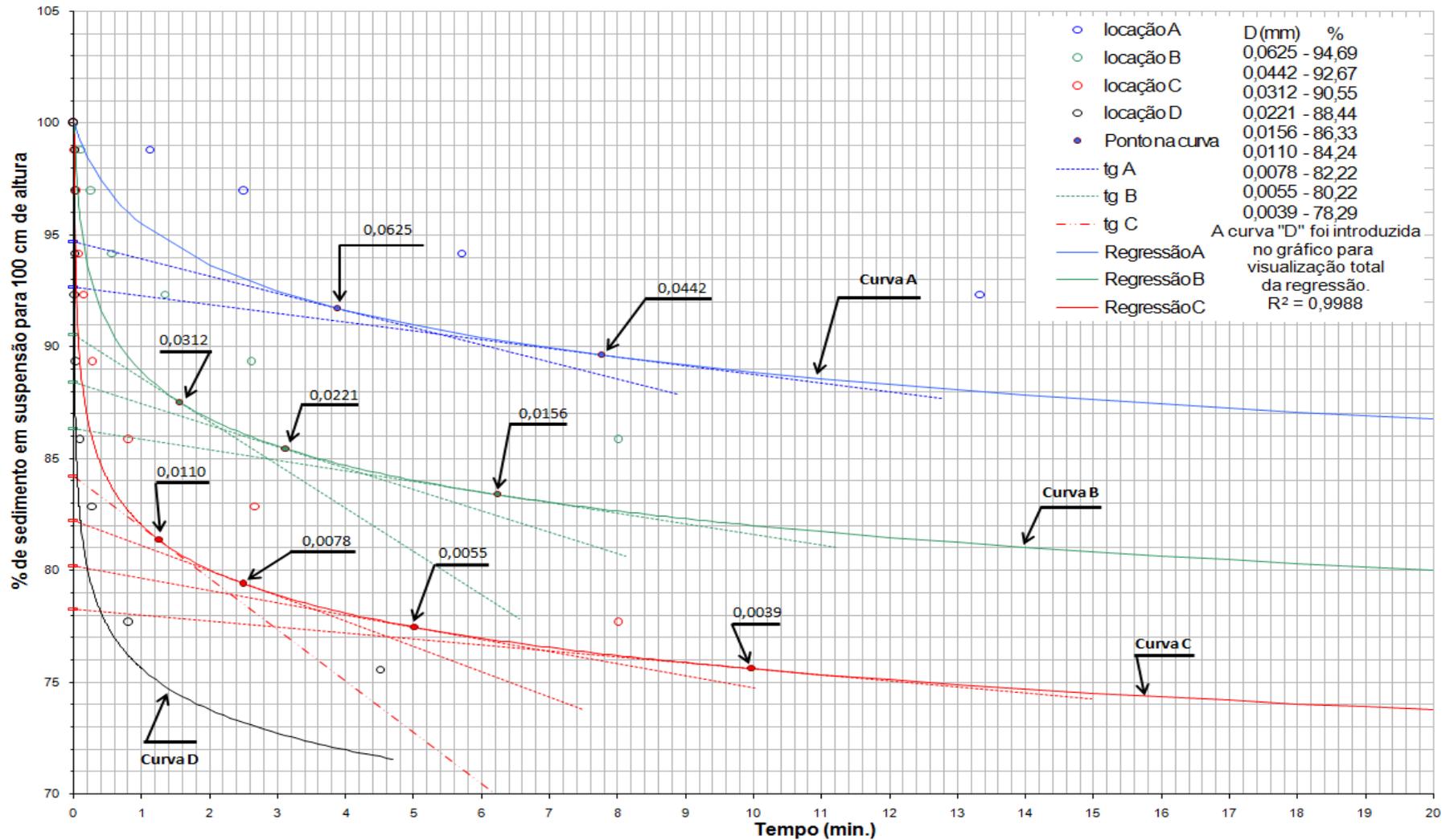
APÊNDICE U - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 22 DE MARÇO DE 2013, RIO PIRANHAS



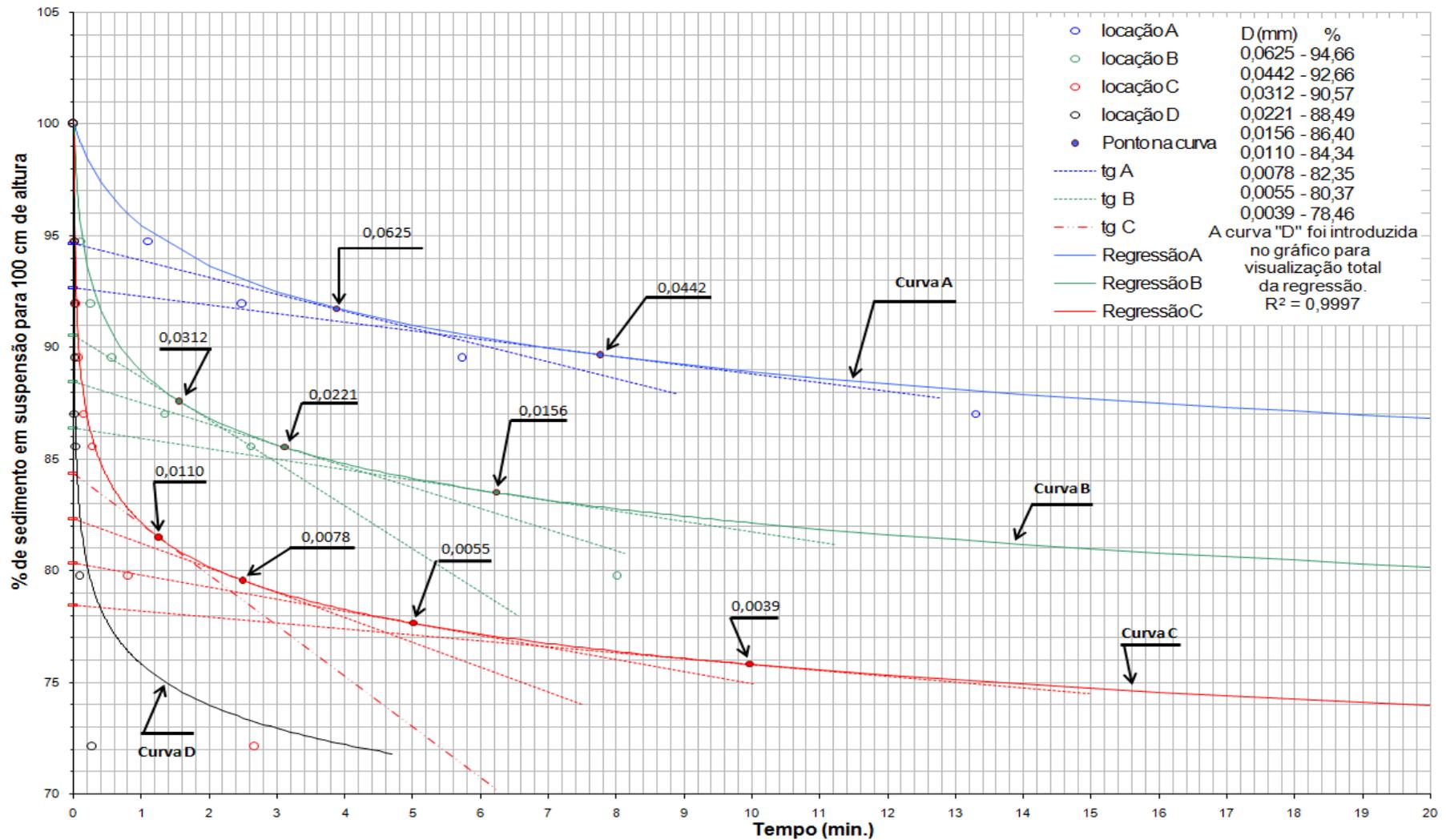
APÊNDICE V - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 26 DE MARÇO DE 2013, RIO PIRANHAS



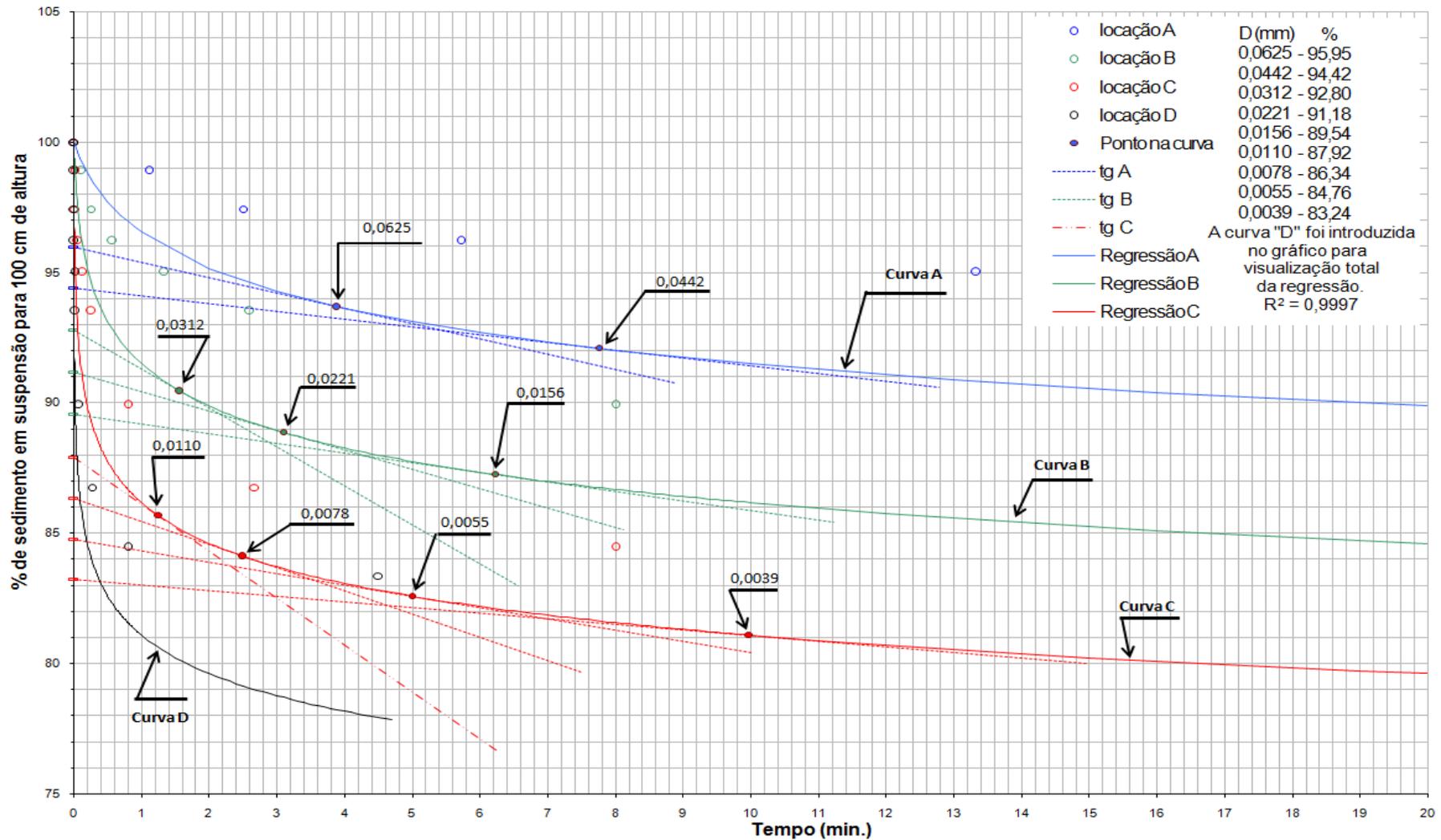
APÊNDICE W - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 27 DE MARÇO DE 2013, RIO PIRANHAS



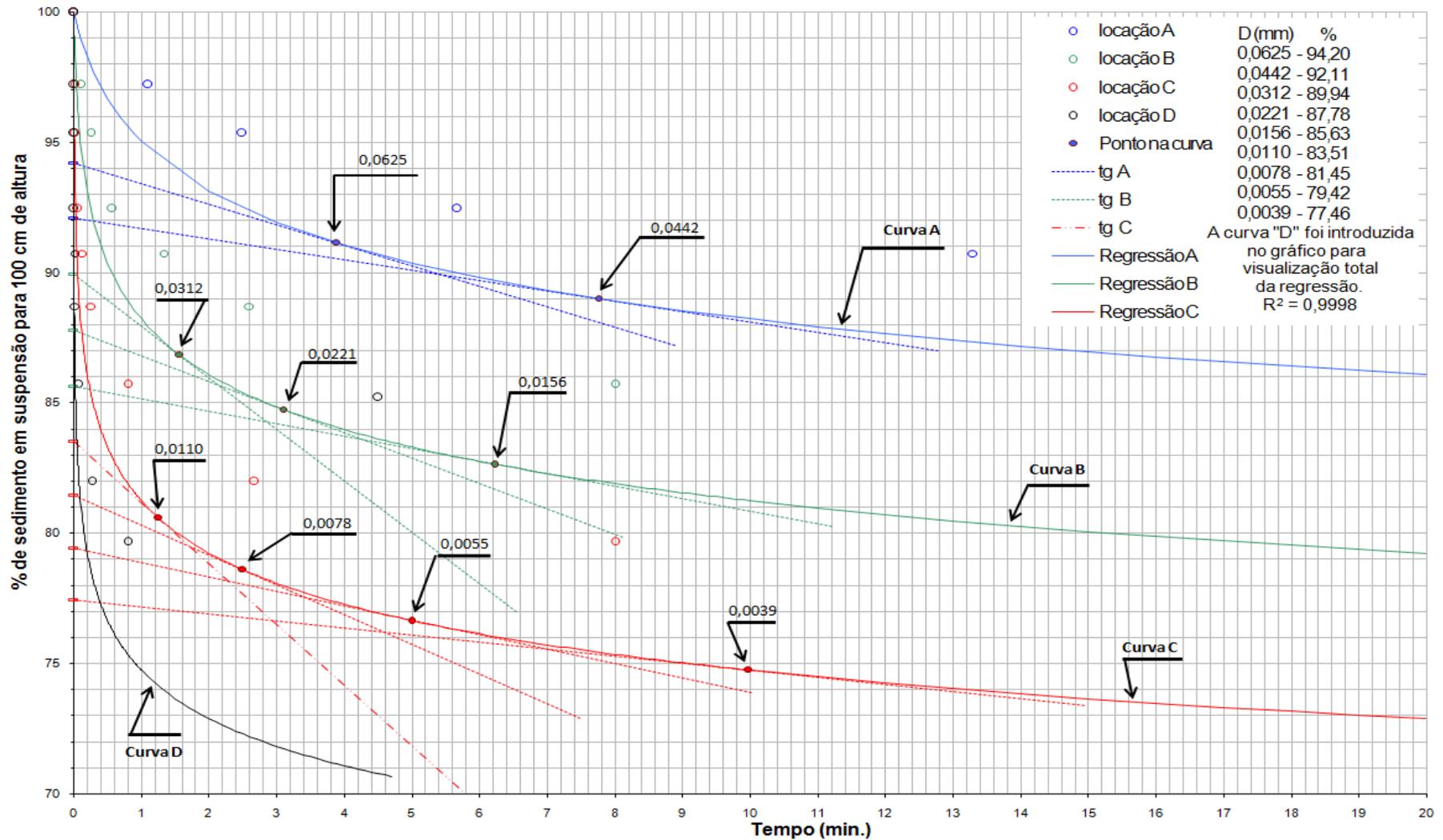
APÊNDICE X - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 28 DE MARÇO DE 2013, RIO PIRANHAS



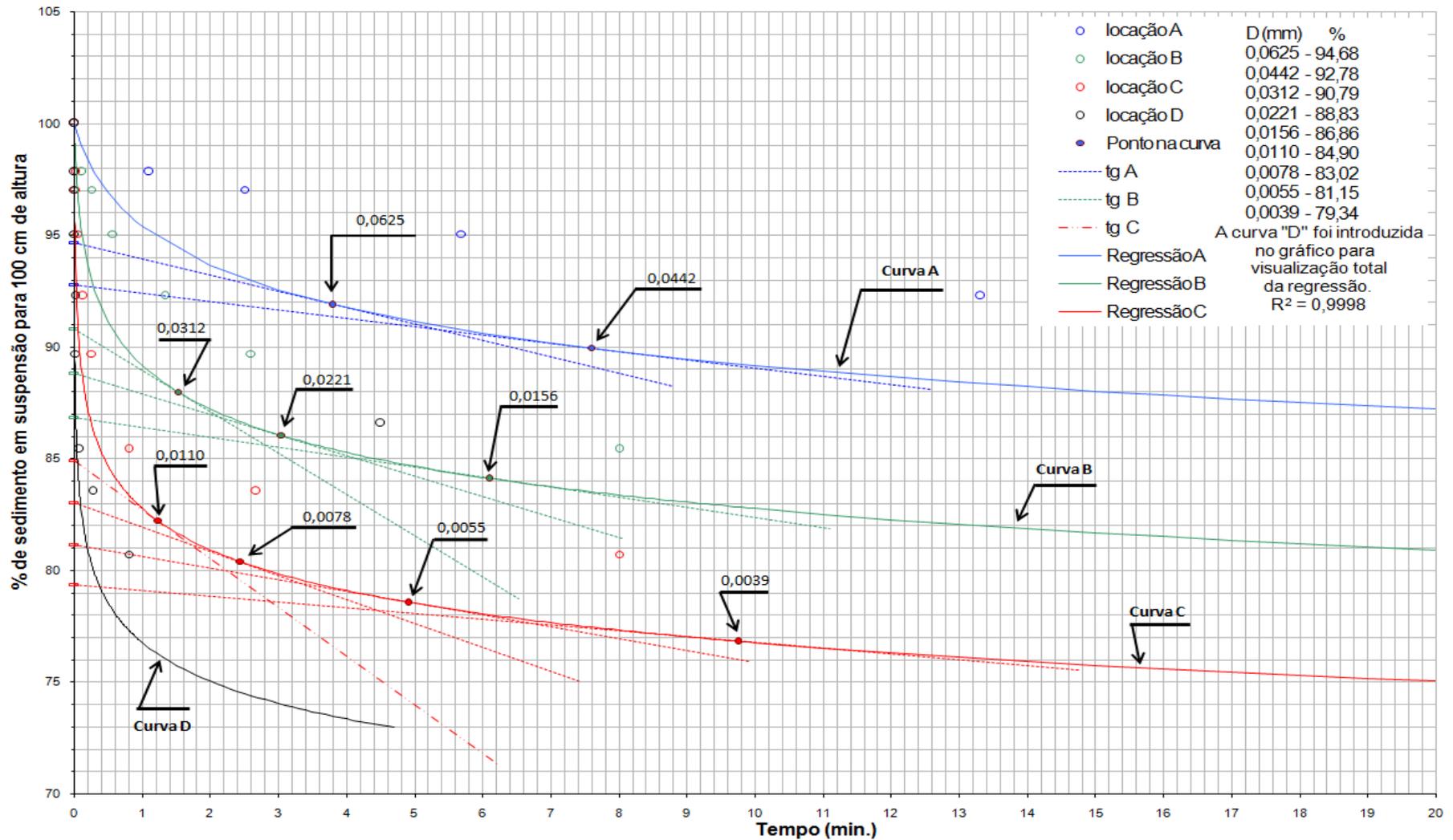
APÊNDICE Y - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 30 DE MARÇO DE 2013, RIO PIRANHAS



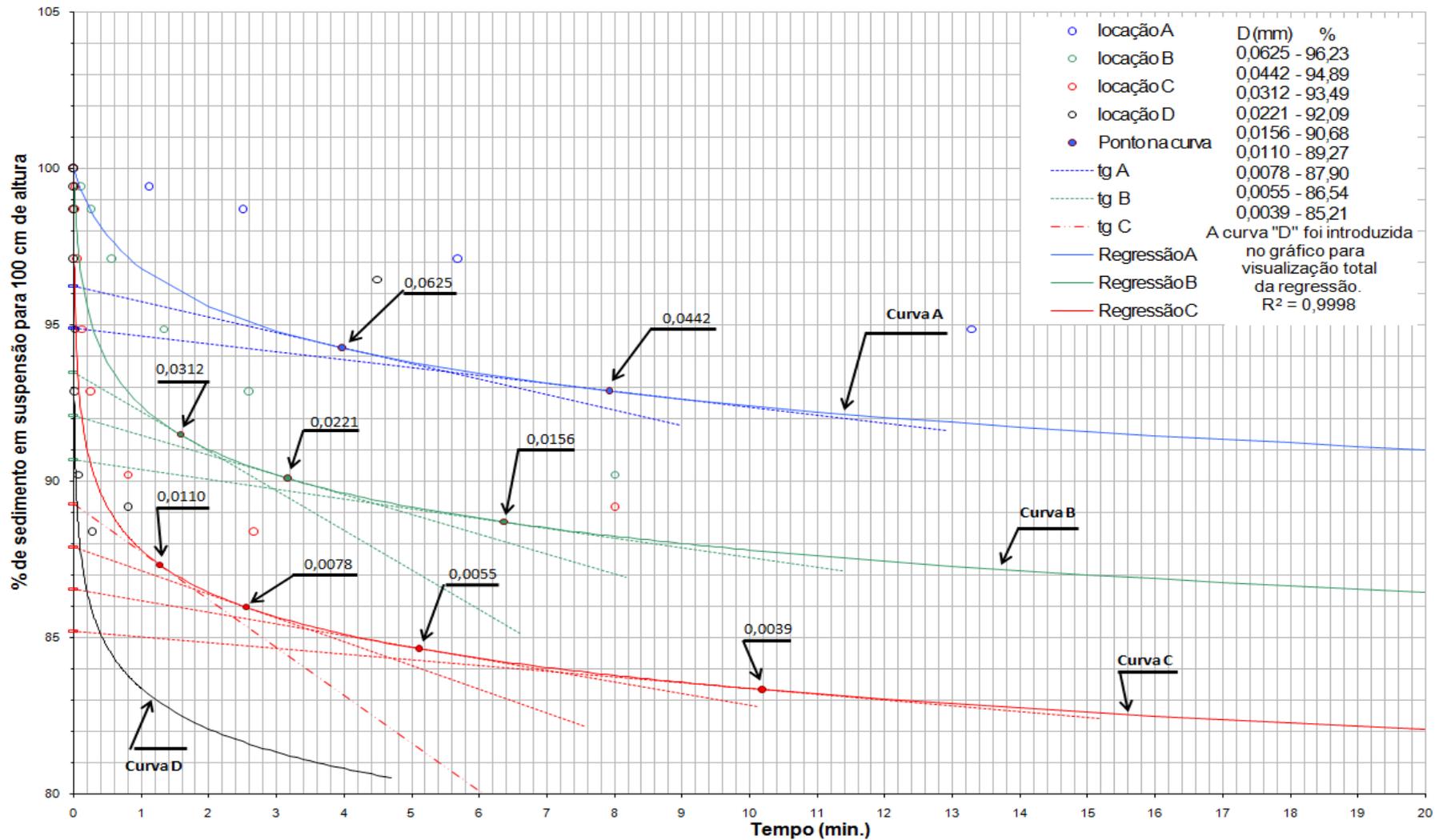
APÊNDICE Z - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 02 DE ABRIL DE 2013, RIO PIRANHAS



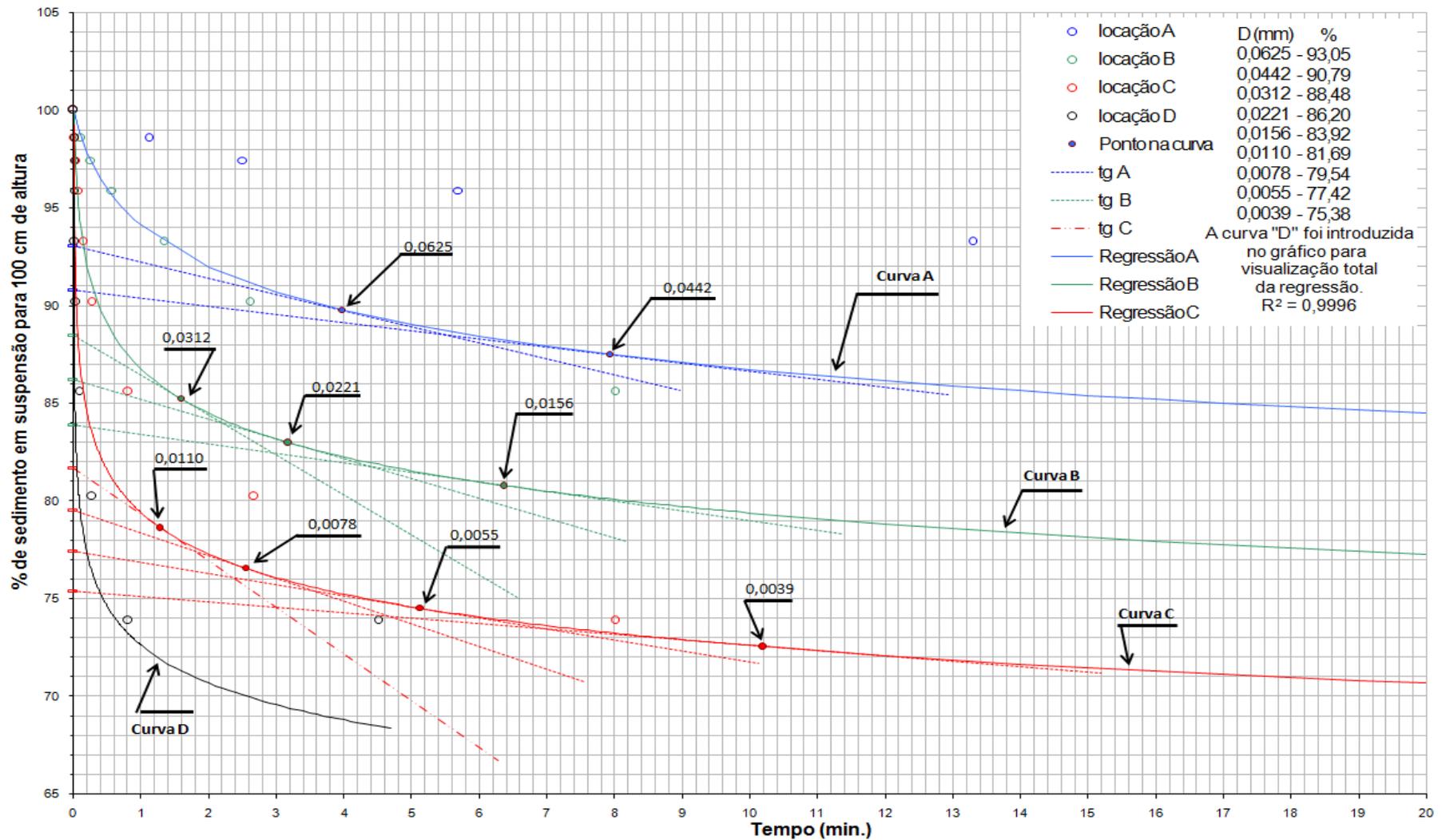
APÊNDICE AA - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 10 DE ABRIL DE 2013, RIO PIRANHAS



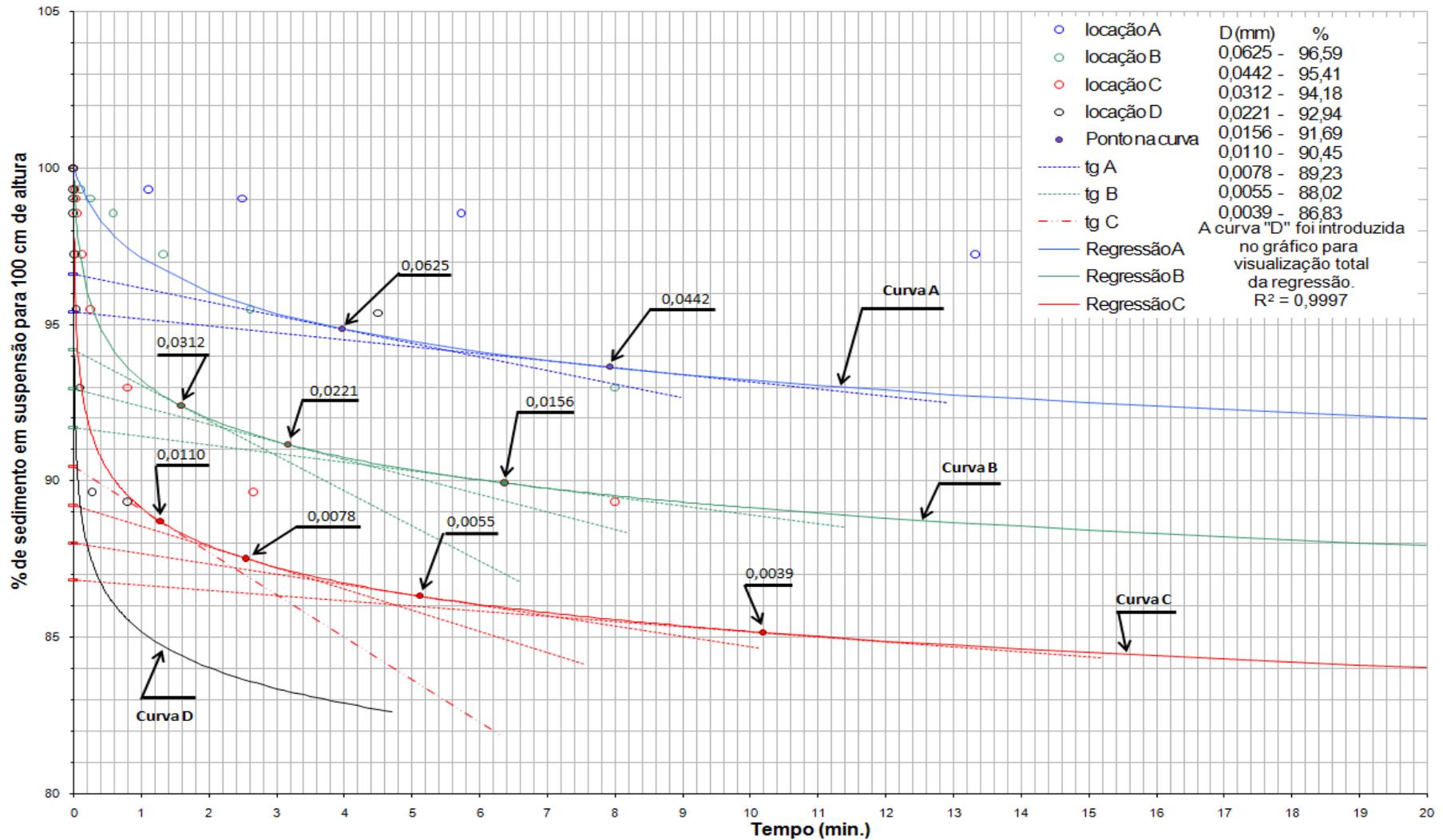
APÊNDICE BB - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 15 DE ABRIL DE 2013, RIO PIRANHAS



APÊNDICE CC - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 25 DE ABRIL DE 2013, RIO PIRANHAS



APÊNDICE DD - TRAÇADO DA CURVA DE ODEN - GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO, MEDIÇÃO REALIZADA EM 14 DE MAIO DE 2013, RIO PIRANHAS



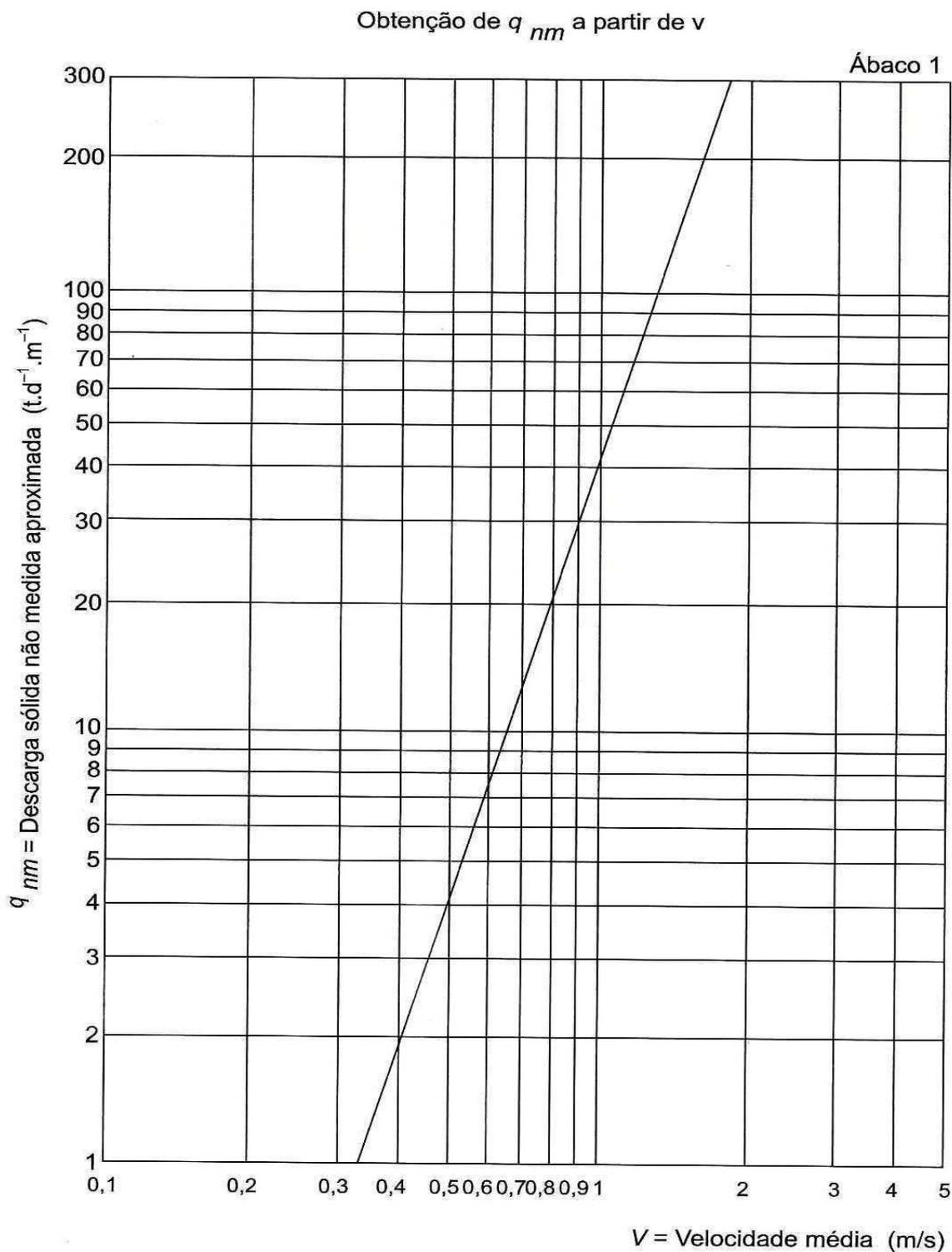
ANEXOS

ANEXO A - TABELA DE TEMPO PARA SER USADA COM A CURVA DE ODEN

Temp. °C	Diâmetro da partícula em mm														
	1,00	0,50	0,25	0,125	0,0625	0,0442	0,0312	0,0221	0,0156	0,0110	0,078	0,0055	0,0039	0,003	0,002
10	0,104	0,243	0,592	1,73	6,22	12,4	24,9	49,7	99,6	200	399	802	1594	3182	6380
11	0,114	0,240	0,577	1,68	6,03	12,1	24,2	48,3	96,9	195	388	780	1551	3095	6206
12	0,113	0,237	0,568	1,65	5,87	11,7	23,6	46,9	94,2	189	377	758	1507	3007	6031
13	0,112	0,233	0,562	1,62	5,72	11,4	22,9	45,7	91,6	184	367	737	1466	2927	5868
14	0,111	0,232	0,552	1,59	5,57	11,1	22,3	44,5	89,2	180	357	718	1428	2850	5715
15	0,11	0,228	0,543	1,56	5,42	10,8	21,7	43,3	86,9	175	348	698	1391	2776	5566
16	0,109	0,227	0,538	1,53	5,27	10,6	21,2	42,2	84,6	170	339	681	1354	2703	5421
17	0,108	0,225	0,528	1,5	5,15	10,3	20,6	41,1	82,5	166	330	664	1320	2633	5285
18	0,107	0,222	0,522	1,48	5,02	10,0	20,1	40,1	80,5	162	322	647	1288	2570	5154
19	0,107	0,22	0,515	1,45	4,88	9,77	19,6	39,1	78,5	158	314	631	1256	2507	5026
20	0,106	0,218	0,506	1,41	4,77	9,53	19,2	38,2	76,6	154	306	616	1225	2445	4904
20,5	0,106	0,217	0,505	1,40	4,72	9,43	19,0	37,8	75,8	153	303	609	1212	2418	4849
21	0,105	0,217	0,503	1,39	4,67	9,32	18,7	37,3	74,9	151	299	602	1198	2391	4794
21,5	0,105	0,215	0,500	1,38	4,61	9,21	18,5	36,9	74,0	149	296	600	1179	2362	4635
22	0,104	0,213	0,497	1,37	4,55	9,10	18,3	36,4	73,0	147	292	587	1168	2332	4675
22,5	0,104	0,213	0,492	1,36	4,50	8,99	18,1	36,0	72,2	145	289	580	1155	2305	4621
23	0,104	0,212	0,488	1,34	4,45	8,88	17,8	35,5	71,3	143	285	574	1141	2277	4566
23,5	0,104	0,21	0,487	1,33	4,39	8,78	17,6	35,1	70,5	142	282	576	1128	2251	4514
24	0,103	0,21	0,485	1,32	4,33	8,67	17,4	34,7	69,6	140	279	560	1114	2225	4461
24,5	0,103	0,21	0,480	1,31	4,29	8,58	17,2	34,3	68,9	139	276	554	1102	2200	4411
25	0,103	0,208	0,478	1,30	4,25	8,48	17,0	33,9	68,1	137	273	548	1090	2175	4361
25,5	0,102	0,208	0,475	1,29	4,20	8,38	16,9	33,6	67,4	136	270	541	1078	2151	4312
26	0,102	0,207	0,472	1,28	4,15	8,28	16,7	33,2	66,6	134	266	534	1065	2126	4263
27	0,101	0,205	0,467	1,26	4,05	8,10	16,3	32,4	65,1	131	260	524	1042	2076	4169
28	0,101	0,203	0,462	1,24	3,97	7,93	15,9	31,7	63,7	128	255	512	1019	2034	4079
29	0,100	0,202	0,455	1,22	3,88	7,77	15,6	31,1	62,3	125	249	501	997	1990	3991
30	0,0998	0,200	0,450	1,20	3,80	7,60	15,3	30,4	61,0	123	244	491	976	1948	3907
31	0,0991	0,198	0,445	1,18	3,71	7,43	14,9	29,8	59,7	120	239	481	956	1908	3825
32	0,0987	0,197	0,442	1,17	3,65	7,28	14,6	29,2	58,5	118	234	471	936	1869	3747

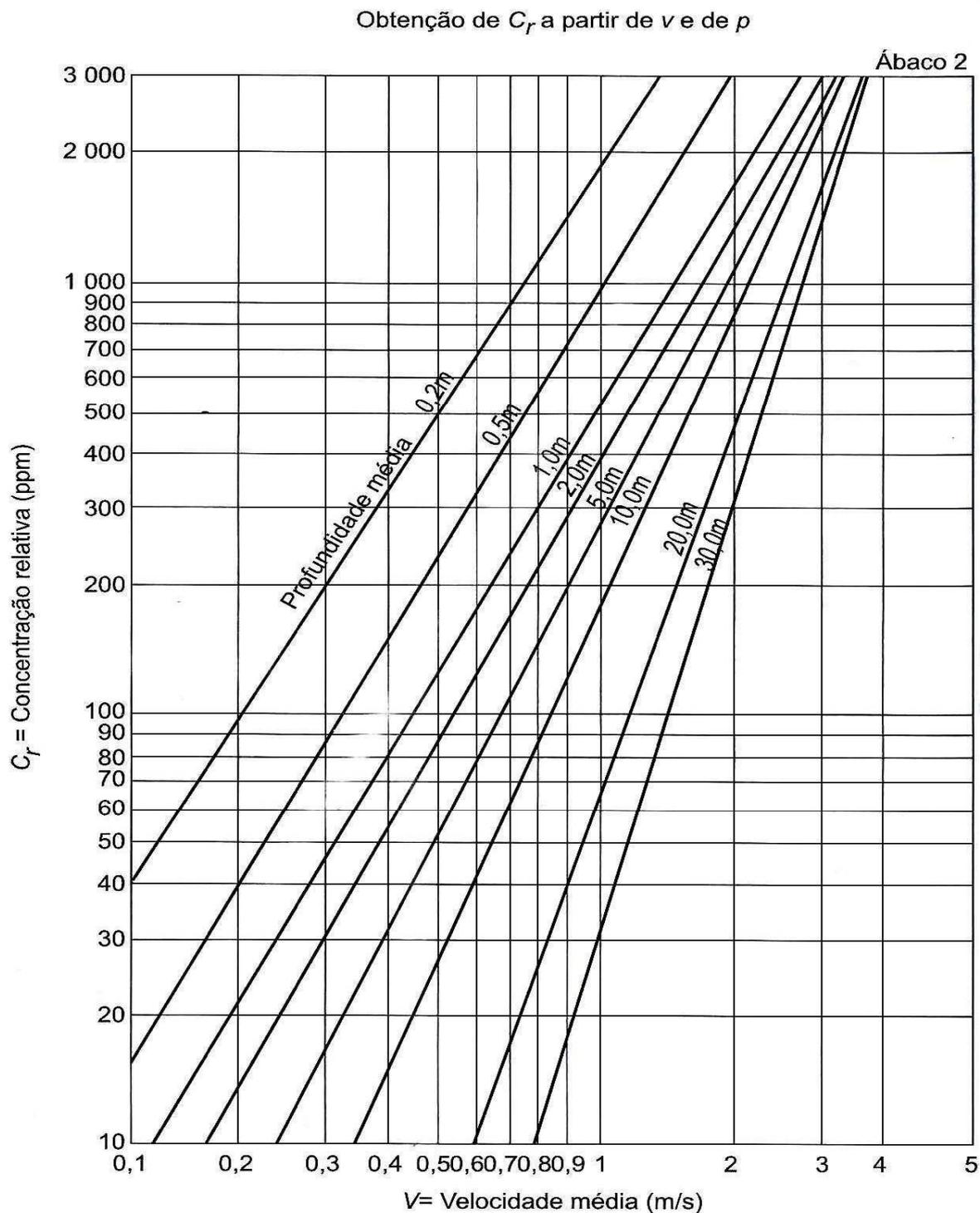
Fonte : Carvalho, 2008

**ANEXO B – ÁBACO 1 PARA CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA TOTAL PELO
MÉTODO DE COLBY SIMPLIFICADO – OBTENÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA
NÃO-MEDIDA APROXIMADA, POR METRO DE LARGURA DO RIO, A PARTIR
DA VELOCIDADE MÉDIA DO CURSO D'ÁGUA**



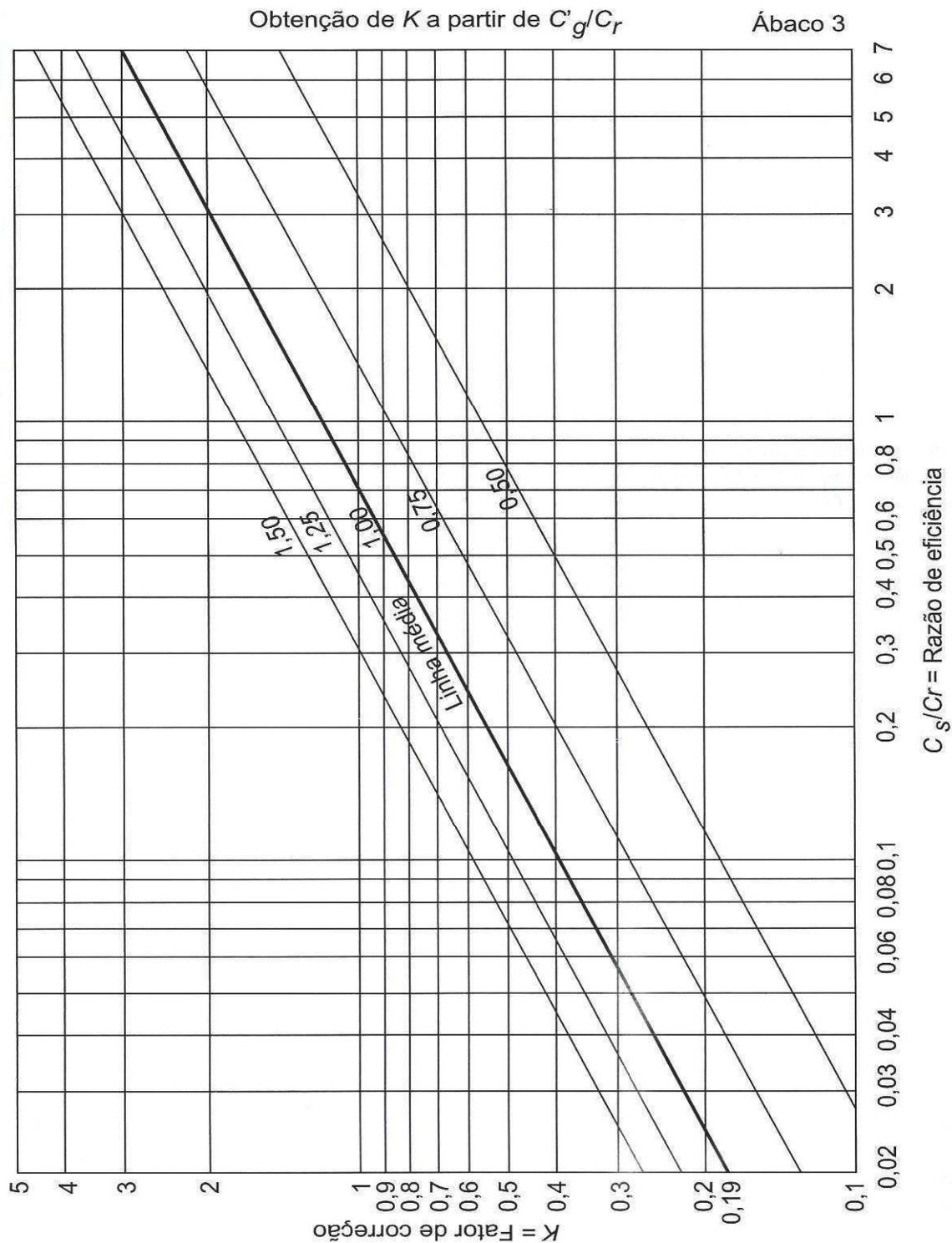
Fonte: USBR; Simons e Senturk citado por Carvalho, 2008

ANEXO C – ÁBACO 2 PARA CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA TOTAL PELO MÉTODO DE COLBY SIMPLIFICADO – OBTENÇÃO DA CONCENTRAÇÃO RELATIVA A PARTIR DA VELOCIDADE MÉDIA E DA PROFUNDIDADE MÉDIA DO CURSO D'ÁGUA (ADAPTADO AO SISTEMA MÉTRICO)



Fonte: USBR; Simons e Senturk citado por Carvalho, 2008

ANEXO D – ÁBACO 3 PARA CÁLCULO DA DESCARGA SÓLIDA TOTAL PELO MÉTODO DE COLBY SIMPLIFICADO – OBTENÇÃO DO FATOR DE CORREÇÃO A PARTIR DA RAZÃO DE EFICIÊNCIA



Fonte: USBR; Simons e Senturk citado por Carvalho, 2008