

DATAÇÃO DE SEDIMENTOS APLICADA AO MONITORAMENTO AMBIENTAL DE
BACIAS HIDROGRÁFICAS: EXEMPLO DA BACIA DO RIO GRANDE - BILLINGS, SP

TC
repareto
012

PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
DO IPEN
DEVOLVER NO BALCÃO DE
EMPRESTIMO

FERNANDO CAMPAGNOLI (1)

BARBARA PACI MAZZILLI (2)

SANDRA REGINA DAMATTO MOREIRA (3) *

RESUMO: O Reservatório Rio Grande/Billings está localizado na porção sudeste da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, e está sendo impactado pelas expansões urbanas dos municípios vizinhos devido a sucessivas exposições de solo por loteamentos e terraplenagens, com geração de expressiva carga de sedimentos depositados no reservatório desde a sua operação em 1925. Na tentativa de mensurar as taxas de sedimentação deste afluente, foi realizado o estudo de um testemunho de sondagem das proximidades do delta de deposição principal, do Córrego Ribeirão Pires, principal contribuinte. Este testemunho foi analisado pelo método ^{210}Pb , obtendo-se uma curva de sedimentação que demonstra variações nas taxas de sedimentação, com aderência à história do uso e ocupação do solo da bacia contribuinte

ABSTRACT: This paper is based in a number of studies in the Metropolitan Area of São Paulo (MASP). The susceptibility of terrains to processes was studied as well as forms of land use, together with the conflicts and impacts. Silting observed in the the Rio Grande/Billings reservoir situated on the southeast of the MASP. In characterization and quantification studies of the corer drilling silting deposits on the Ribeirão Pires river, it was verified that the evolution of rates of deposition shows a strict relation to the history of land use, allowing the establishment of specific rates of production of sediments per basin along time. The utilization of rates of evolution of deposits as well as their accumulated volumes can provide a specter of environment geo-indicators, measuring the efficiency of preventive and corrective actions adopted in the hidrographic basins that aim the mitigation of processes and soil degradation.

PALAVRAS CHAVE: monitoramento, assoreamento, datação

(1) Fernando Campagnoli: campagno@ipt.br - Divisão de Geologia - DIGEO - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT - Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária - São Paulo - SP CEP 05508-901 CP 0141-01064-970 - Fone 011- 37674347 fax 37674083

(2) Barbara Paci Mazzilli: mazzilli@net.ipen.br (3) Sandra Regina Damatto Moreira : damatto@net.ipen.br Departamento de Radioprotecao Ambiental - NA Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN - Travessa R, 400 - Cidade Universitária - Pinheiros - SP CEP: 05508-900 fone: 011 816 9206 / 011 816 9208 fax: 011 816 9208

* dados fornecidos pela autora:

trabalho apresentado no 13º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos -

28/11 a 02/12 de 1999 - Belo Horizonte MG

7957

Anais em CD-ROM (Associação Brasileira de Recursos Hídricos)

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho é fruto de parceria técnica entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, através da Divisão de Geologia, e do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, através do Departamento de Radioproteção Ambiental. As atividades ainda estão em andamento, no sentido de definir indicadores ambientais através do estudo do assoreamento de reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo –RMSP.

A área de estudo deste trabalho é bastante polêmica do ponto de vista ambiental, uma vez que se insere dentro dos mananciais de abastecimento público da RMSP, abastecendo 4 municípios (ABCD) com vazão média de 4 m³/s, atendendo a uma população aproximada de 1,7 milhões de habitantes, que está sendo impactado pela expansão urbana da RMSP, que através de sucessivas exposições de solo por loteamentos e terraplenagens, tem gerado expressiva carga de sedimentos, que atingem o reservatório desde a sua operação em 1925 (figura 1).

Com o objetivo de compreender a dinâmica sedimentar na bacia hidrográfica contribuinte, suas áreas de produção de sedimentos e suas taxas de sedimentação no interior do reservatório, desenvolveu-se este trabalho, que traz importantes subsídios para o monitoramento e gestão ambiental da bacia.

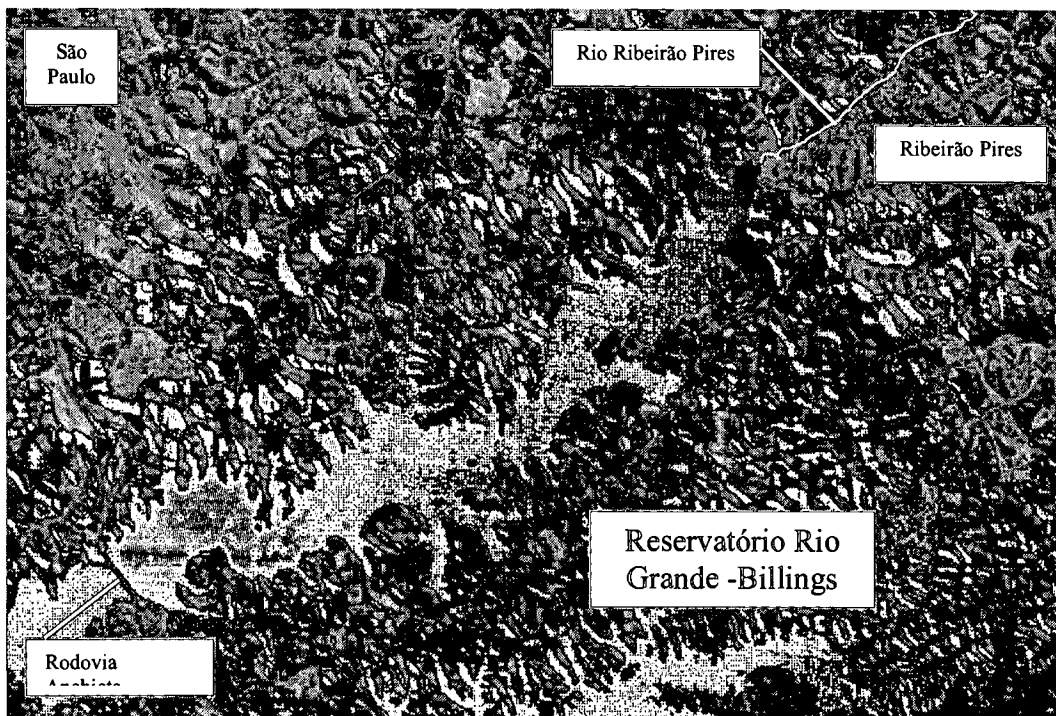


Figura 1: Imagem Landsat do Reservatório Rio Grande. As áreas verdes representam áreas com cobertura vegetal, as áreas rosadas a área consolidada da Região Metropolitana de São Paulo e as intermediárias mostram as áreas de atual expansão urbana.

2. METODOLOGIA

O trabalho contou com três fases principais, sendo a primeira baseada em trabalhos de mapeamento em escala regional das áreas de produção de sedimentos e dos depósitos de assoreamento, a segunda através da investigação direta dos materiais assoreados por meio de amostragens de sedimentos de fundo e indireta através de perfilações sísmicas no reservatório, e finalmente pelos ensaios laboratoriais de granulometria e datação de sedimentos pelo método do ^{210}Pb . Essas fases são descritas a seguir.

2.1 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

O mapeamento foi realizado em escala 1:25.000, onde procurou-se entender a dinâmica sedimentar das áreas selecionadas através da elaboração de cartas temáticas, visando obter o Mapa de áreas de produção de sedimentos. Partiu-se do Mapa de Compartimentos Morfopedológicos, que reúne as características de geologia, geomorfologia e pedologia. Posteriormente foi elaborado o Mapa de Suscetibilidade à Erosão, que discretiza a suscetibilidade dos terrenos aos processos erosivos. Buscando identificar as áreas de conflito uso do solo e suscetibilidade dos terrenos, foi elaborado o Mapa de Uso do Solo com base em levantamentos aéreos recentes, que foi superposto ao Mapa de Suscetibilidade à Erosão, definindo-se classes de produção de sedimentos, no Mapa de Áreas de Produção de Sedimentos. Este mapa fornece os locais onde potencialmente estão se formando os depósitos de assoreamento, permitindo mapeá-los e caracterizá-los.

2.2 MAPEAMENTO DOS DEPÓSITOS DE ASSOREAMENTO

O mapeamento dos depósitos foi realizado com o objetivo de funcionar como um geoindicador ambiental (SHOEMAKER,1994 e CAMPAGNOLI,1998b). A investigação dos depósitos de assoreamento foi realizada através de levantamentos geofísicos por sonar, perfilação sísmica contínua e radar; e com amostragem direta de sedimentos de fundo com amostrador de mandíbula “Van Veen”, que recolhe amostras de até 20 cm de profundidade, e com “piston corer” que chega a amostrar até 2 m (figuras 2 a 7).

As amostras de sedimento de fundo, coletadas pelo amostrador Van Veen foram analisadas granulometricamente de forma a compor o Mapa de Depósitos Sedimentares, que indica os vetores de sedimentação atual e as áreas de expressivos depósitos de assoreamento. As amostras do “piston corer” evidenciam a espessura dos depósitos de assoreamento, além de fornecer importante material para análises de qualidade dos sedimentos e datação dos mesmos. A datação radiométrica destas colunas sedimentares, foram processadas pelo Departamento de Radioproteção Ambiental – NA do IPEN, através do método radiométrico do Pb^{210} .

A partir dessas informações já levantadas, está em elaboração a modelagem digital de terrenos para os depósitos de assoreamento do Reservatório Rio Grande, que permitirá o cálculo dos volumes de assoreamento e suas relações com as taxas de sedimentação apresentadas neste trabalho.

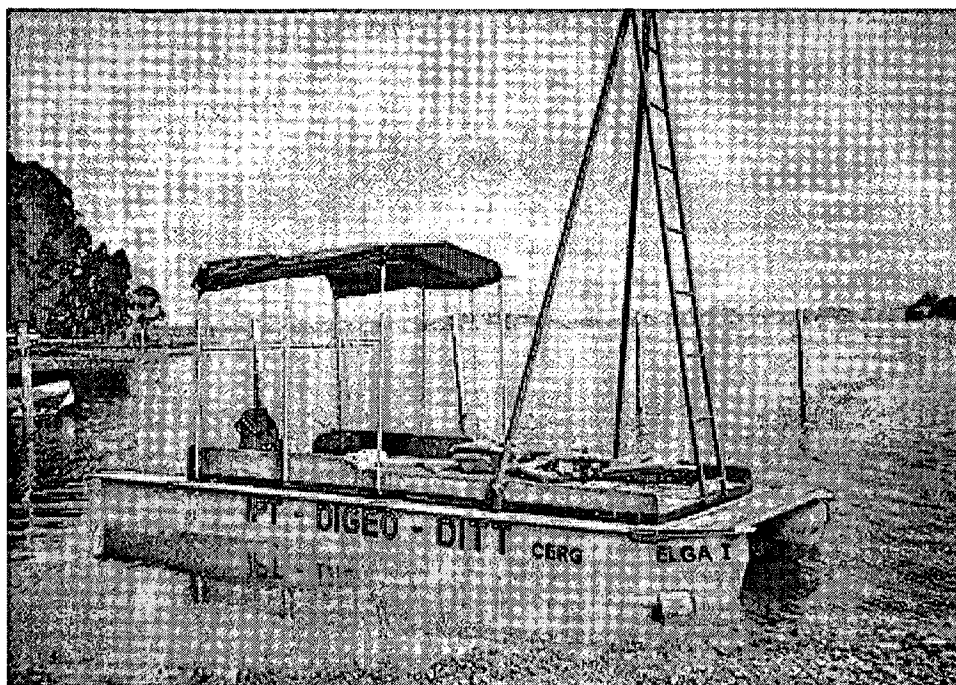


Figura 2: Embarcação de amostragem e de levantamentos geofísicos. A amostragem por Piston Corer consiste no lançamento de um dardo de 2,50m através da torre mostrada na figura.

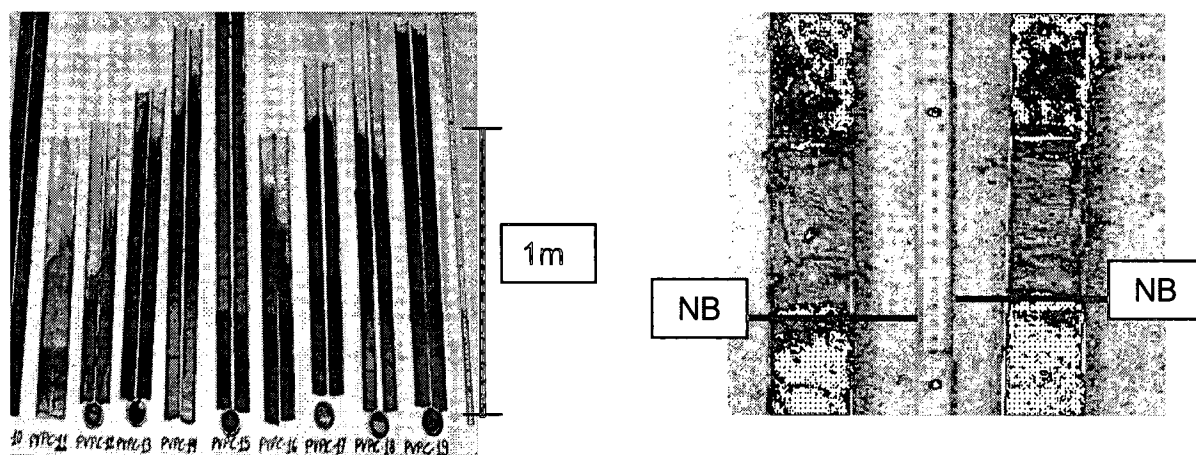


Figura 3: Amostras coletadas pelo amostrador Piston Corer. No detalhe (à direita) observa-se o nível de base (NB) do depósito de assoreamento.

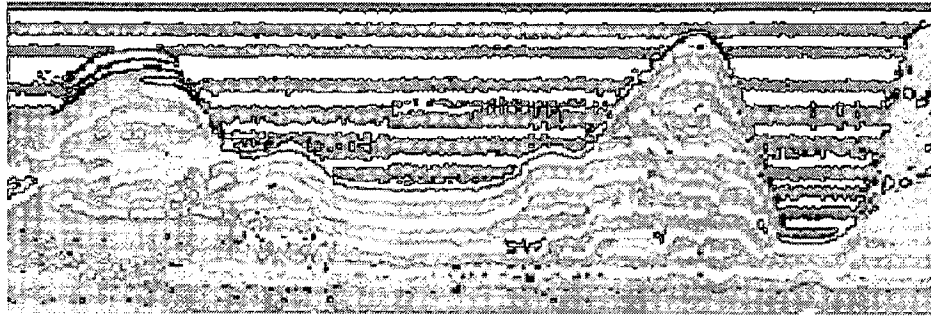


Figura 4: Registro de perfilagem por radar (GPR) em água. O registro mostra a topografia do fundo e algumas camadas sedimentares depositadas.

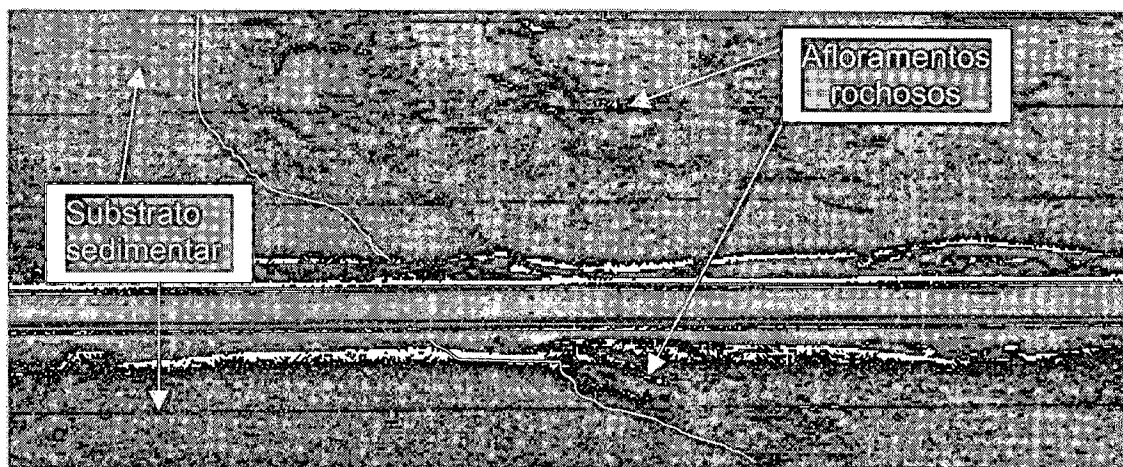


Figura 5: Registro sísmico do sonar. Observa-se as diferentes naturezas do fundo, através de diferentes texturas do substrato rochoso e sedimentar

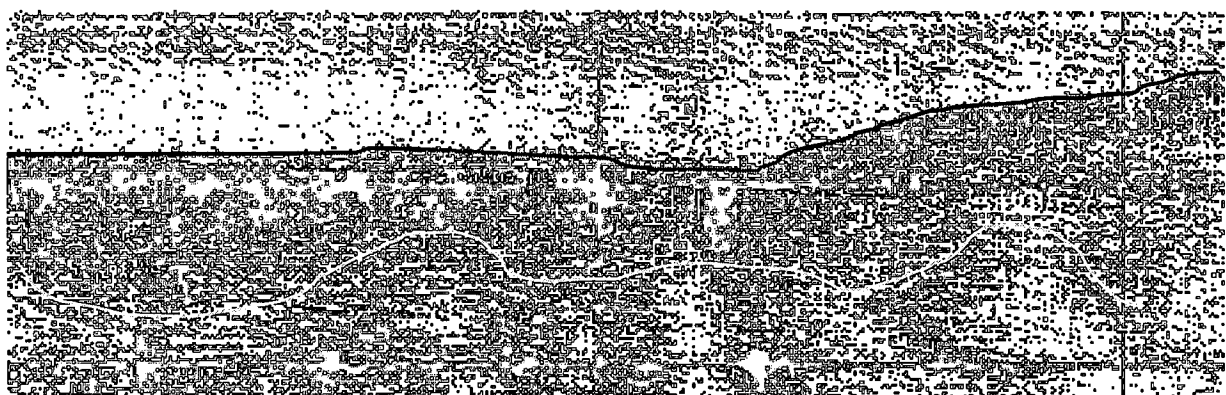


Figura 6 : Registro da perfilagem sísmica contínua. A linha amarela define o nível de base do pacote sedimentar e a linha azul a topografia do fundo.

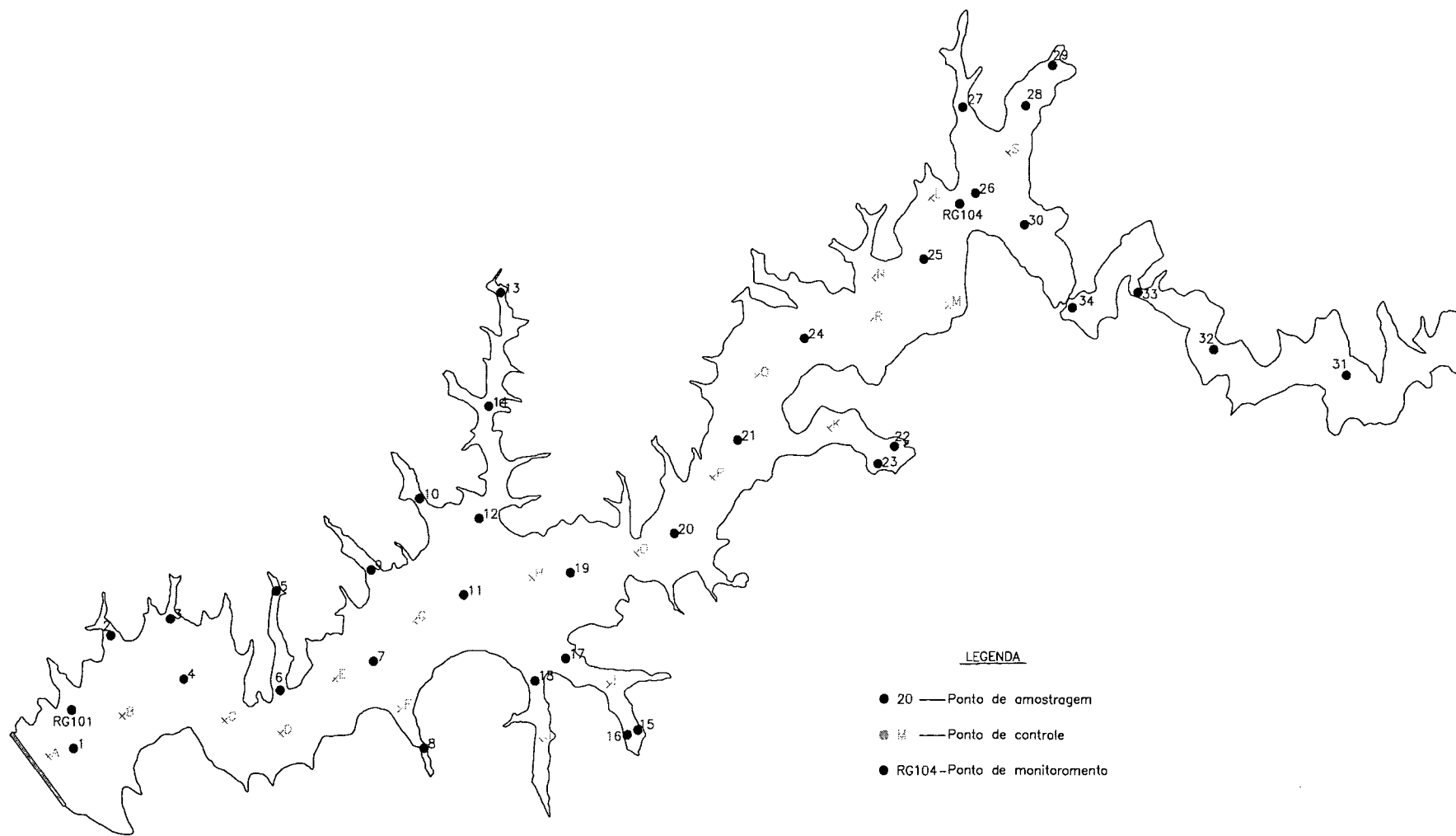


Figura 7: Mapa de Pontos de amostragem do Reservatório rio Grande

2.3 ENSAIOS DE DATAÇÃO DE SEDIMENTOS

O uso de isótopos radioativos, para a determinação de taxas de sedimentação e idade de sedimentos, é uma eficiente ferramenta em estudos geoquímicos, hidrológicos e limnológicos, pois estabelece escalas cronológicas para diferentes acontecimentos, permitindo seguir o traçado de processos naturais e artificiais e uma avaliação do impacto antrópico sob o meio ambiente.

Os sedimentos dos sistemas aquosos representam uma grande fonte de estudo pois, são formados de material sólido carregado pelo vento, gelo e água da superfície da terra. Também se originam pela deposição de material orgânico provenientes de animais que vivem no local.

Através da formação dos sedimentos pode-se obter uma visão histórica da evolução que os sistemas naturais têm sofrido no tempo, pois uma grande quantidade de informação dos fenômenos que podem ter acontecido fica gravada nas diferentes camadas que o formam. É nas camadas mais superiores desse sedimento que se encontram as informações sobre a influência do grande aumento da atividade humana e industrial deste último século.

Os sedimentos de lagos constituem também um ecossistema potencial para o acúmulo de metais pesados (Robbins, 1989; Gatti, 1997). O particulado suspenso, geralmente uma fração rica em matéria orgânica na coluna d'água de um lago, tem fundamental importância na distribuição de metais pesados no ambiente, pois exerce a função de carregador dos íons metálicos dissolvidos na água e seu destino é o fundo do lago. O destino do íons adsorvidos é o sedimento de fundo de lagos, exceto em ambientes profundos onde há significativa mineralização da matéria orgânica na coluna d'água e esse metal pode em parte, entrar na cadeia alimentar antes de ser temporariamente imobilizado no sedimento de fundo.

Assim os sedimentos dos ambientes aquáticos podem ser utilizados no estudo de poluição, como indicadores da presença e dos níveis de metais pesados. Além disso a análise de perfis de metais pesados permite o levantamento histórico da ação antrópica do local de estudo.

O conhecimento da taxa de acumulação dos radionuclídeos em ambientes lacustres e marinhos durante os últimos cem anos é de fundamental importância no entendimento de processos geoquímicos sedimentários e aquáticos. Em geral a interpretação de perfis químicos de sedimentos superficiais é limitada pela ausência do conhecimento das taxas de sedimentação (Robbins, 1975).

Dentre os vários métodos de datação existentes os mais utilizados são os baseados no desequilíbrio das séries radioativas naturais, urânio, actínio e tório, devido a longa meia vida dos nuclídeos que constituem estas séries, sendo possível obter-se intervalo de idade de 10^5 anos até a idade da terra (Ivanovich e Harmon, 1992).

Entretanto para estudos de camadas de sedimento mais recentes, onde se encontra toda a informação da influência do grande aumento da atividade humana e industrial decorrente deste

último século, utiliza-se um método de datação baseado na medida da concentração do nuclídeo ^{210}Pb (meia vida 22,3 anos), membro da série radioativa natural do urânio (^{238}U , figura 1), por fornecer intervalos de idade de 100 a 150 anos.

A metodologia básica de datação via ^{210}Pb foi estabelecida em 1963 por Goldberg, que mediu a taxa de acumulação glacial em geleiras de Greenland a partir do ^{210}Pb precipitado da atmosfera. Mais tarde outros trabalhos também foram feitos sobre a determinação da taxa de acumulação glacial e somente no início da década de 70 foram realizadas as primeiras aplicações da técnica de datação via ^{210}Pb em sedimentos lacustres e marinhos (Krishnaswami e col., 1971).

Os isótopos do chumbo mais importantes em termos de aplicações geoquímicas e geofísicas são os que ocorrem como membros das séries de decaimento radioativo: ^{210}Pb ($T_{1/2}=22,3\text{a}$) e ^{214}Pb ($T_{1/2}=26,8\text{min}$) série do urânio (^{238}U), ^{211}Pb ($T_{1/2}=36,1\text{min}$) série do actínio (^{235}U) e ^{212}Pb ($T_{1/2}=10,6\text{h}$) série do tório (^{232}Th) (Robbins, 1978).

Estes radionuclídeos são importantes geoquímica e geofisicamente, pois são transferidos da crosta da terra para a atmosfera em maiores quantidades, devido a presença de um gás inerte na série de decaimento radioativo que ao se formar difunde para a crosta da terra e é transportado por turbulência e advecção para a atmosfera.

O ^{210}Pb , membro da série de decaimento radioativo do ^{238}U tem como radionuclídeos antecessores mais importantes o ^{226}Ra (meia vida de 1622 anos) e ^{222}Rn (meia vida de 3,83 dias). Aproximadamente 25% desse radônio que é produzido nas áreas continentais emana para a atmosfera, ficando o resto preso nos solos em equilíbrio com seu antecessor ^{226}Ra . O ^{222}Rn emanado perde o equilíbrio e decai com sua própria meia vida, 3,8 dias, sendo o ^{210}Pb o primeiro produto de decaimento com uma meia vida significativa.

A principal fonte de ^{210}Pb na atmosfera é portanto proveniente da emissão do radônio das massas continentais. Quando o ^{210}Pb de origem atmosférica precipita, decai com sua própria meia vida, pois se encontra isolado da série radioativa. Adicionalmente nos sistemas onde se acumula o ^{210}Pb precipitado como sedimentos, gelo, etc, também existe uma fração do mesmo radionuclídeo de origem do decaimento do ^{226}Ra presente no material que está em equilíbrio secular com o ^{226}Ra decaindo com igual meia vida. Esta fração é conhecida como ^{210}Pb em equilíbrio enquanto que a fração que precipita como ^{210}Pb em excesso.

Portanto a partir da concentração de ^{210}Pb em excesso existente em um perfil de sedimentos pode-se conhecer a taxa de sedimentação e datar, mediante a aplicação de modelos matemáticos, as diferentes camadas do mesmo a medida que sua atividade decresce com a profundidade.

A quantidade de ^{210}Pb em excesso é determinada a partir da expressão:

$$^{210}\text{Pb}_{\text{total}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{equilíbrio}} + ^{210}\text{Pb}_{\text{excesso}}$$

Determinando-se o ^{210}Pb total e ^{210}Pb em equilíbrio existente em cada uma das camadas do sedimento obtém-se o ^{210}Pb em excesso.

O determinação do ^{210}Pb total pode ser feita por espectrometria gama através de seu raio gama de 46,5 keV e intensidade 4,05%, ou pela medida de seus produtos de decaimento direto, ^{210}Bi emissor de partículas beta ou pelo ^{210}Po emissor de partículas alfa (Garcia-Tenorio, 1986; Lobo e col. 1990).

A determinação de ^{210}Pb em equilíbrio é feita pela medida da atividade do ^{226}Ra em cada camada do sedimento. O ^{226}Ra é um elemento da série radioativa natural do urânio (^{238}U) com meia vida de 1622 anos, é um emissor alfa com energia de 4,8 Mev e intensidade 94,45% podendo ser determinado também por diferentes métodos (Garcia-Tenorio, 1986; Lobo e col., 1990).

Uma vez determinado os valores de ^{210}Pb em excesso, em cada uma das camadas do sedimento, o passo final é a aplicação de um modelo matemático que mais se ajuste a suas características para proceder a datação.

Metodologia experimental empregada na determinação de ^{210}Pb

Estão sendo analisados 4 testemunhos do Piston Corer do Reservatório Rio Grande, sendo que apenas o que se refere ao ponto 26 da figura 7, está sendo apresentado neste trabalho.

A) Pré tratamento Físico e Químico das Amostras

Após a coleta do perfil de sedimento, este foi seccionado a cada dois centímetros, as amostras pesadas e secas em estufa a 60°C e pesados novamente para a determinação da umidade.

Após a secagem as amostras foram peneiradas em malha 0,065 mm com água deionizada e levadas a estufa a 60°C novamente para secagem. Depois de secas foram homogeneizadas em almofariz de vidro. Foi determinado também em cada fatia do perfil a porosidade e densidade de cada amostra.

Uma alíquota de 1,0g de cada amostra, em duplicata, é submetida a digestão com ácidos minerais em digestor de microondas. Após a dissolução da amostra as determinações de ^{226}Ra e ^{210}Pb foram realizadas segundo Oliveira (1993) e Moreira (1993), respectivamente.

B) Procedimento radioquímico

Utilizou-se um procedimento radioquímico seqüencial para a determinação de ^{226}Ra e ^{210}Pb que consiste de uma precipitação inicial com H_2SO_4 3M após a adição de carregadores estáveis de bário e chumbo onde estes elementos precipitaram na forma de $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ e PbSO_4 .

Este precipitado é dissolvido com ácido nítrico tri-acético (Titriplex I) em meio básico e reprecipitado com sulfato de amônio para que o sulfato de bário e rádio precipitem, enquanto o

chumbo permanece em solução complexado com o ácido nitrilo tri-acético. O chumbo é então separado do rádio por centrifugação.

O ^{226}Ra é determinado após 21 dias da precipitação, pela medida alfa total do precipitado de $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ em um detetor proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo.

O sobrenadante obtido da centrifugação que contém o chumbo é aquecido e adiciona-se sulfeto de sódio para que o chumbo precipite na forma de sulfeto. Este precipitado é dissolvido com gotas de ácido nítrico concentrado. O chumbo permanece em solução e será formado um precipitado amarelo de enxofre elementar.

A solução é filtrada, adiciona-se ao filtrado acetato de amônio até pH 4,5-5,0, e o chumbo é precipitado como PbCrO_4 pela adição de cromato de sódio 30% sob aquecimento.

O ^{210}Pb é determinado após 10 dias da precipitação, pela medida beta total do precipitado PbCrO_4 , em um detetor proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo.

Aos valores obtidos das concentrações de ^{226}Ra e ^{210}Pb , junto com a massa e porosidade de cada amostra são aplicados aos modelos de datação para o cálculo da taxa de sedimentação e idade de cada fatia do perfil segundo. Ivanovich e Harmon (1992).

3. RESULTADOS

A compartimentação do meio físico da área de estudo baseou-se nas características geológicas e geomorfológicas dos terrenos, considerando-se a suscetibilidade à ocorrência e desenvolvimento dos processos erosivos. Para a área de estudo, as principais unidades geológicas aflorantes estão representadas no Quadro 1 e as unidades geomorfológicas no Quadro 2.

A suscetibilidade dos terrenos aos processos erosivos é função de sua natureza geológica e geomorfológica, que expressam o substrato geológico, a cobertura pedológica e a declividade, que são os condicionantes que atuam natural e conjuntamente no início dos processos erosivos e no seu desenvolvimento, denotando áreas de maior ocorrência de fontes de produção de sedimentos, seja na forma de sulcos, ravinas, boçorocas e escorregamentos. A velocidade e a intensidade destes processos pode variar dependendo das formas de uso do solo, que podem proteger ou expor os terrenos à ação das chuvas, ou seja, diminuindo ou acelerando o desenvolvimento dessas fontes de produção de sedimentos.

Desta forma, analisou-se o uso do solo sobre esses terrenos, visando identificar através do cruzamento suscetibilidade X uso do solo, as áreas de potencial de produção de sedimentos, que posteriormente foram observadas em campo.

A análise do uso do solo contou com cartas de uso e ocupação das terras em levantamentos recentes da SMA(1998). Para o melhor entendimento das formas de uso do solo e seus graus de

impacto para a deflagração dos processos erosivos, algumas áreas foram redefinidas e checadas em campo.

Assim sendo, as formas de uso do solo foram agrupadas em quatro grupos, em função de seus potenciais de acelerar os processos erosivos,. Conforme mostra o Quadro 3.

As categorias são apresentadas em ordem crescente de potencial de erosão. As áreas mais protegidas por cobertura vegetal foram agrupadas na categoria 1, as moderadamente agressivas nas categorias 2 e 3, e as mais impactantes na categoria 4. As áreas urbanas consolidadas, ou núcleos urbanos, situados na categoria 2, oferecem uma certa proteção aos terrenos, uma vez que são terrenos normalmente capeados por pavimentação, possuindo sistema de drenagem de águas pluviais, porém nem sempre devidamente dimensionados, podendo muitas vezes induzir processos erosivos localizados, por concentração do escoamento superficial.

Entretanto, a passagem para as áreas periurbanas ou periféricas das cidades é gradual e freqüentemente recebe esses excessos de escoamento superficial, sobre solos desprotegidos e expostos, onde as erosões costumam se instalar. Essas áreas de expansão das cidades ou vilarejos, sem nenhum sistema de drenagem, com arruamentos de traçado inadequado, muito solo em exposição por terraplenagem, áreas de empréstimo, áreas mineradas, loteamentos ainda não terminados, áreas de invasão para ocupação humana, ocupação em sistema de corte/aterro, configuram a maior agressão à fragilidade dos terrenos, uma vez que removem totalmente a cobertura pedológica, expondo o solo de alteração às intempéries e conseqüente erosão. Por estas razões, essas formas de uso foram consideradas de maior impacto, sendo posicionadas na categoria 4.

A categoria 3 procura agrupar as formas de uso que potencializam os processos erosivos porém em menor intensidade que na categoria 4, pois de alguma forma existe medidas preventivas e localmente corretivas da erosão, como é o caso de chácaras de lazer com cobertura vegetal de proteção de taludes de corte e das vias de acesso, áreas de pastagem criação animal e culturas com algum sistema de rodízio ou medidas conservação de solo, e ainda áreas urbanas quase que completamente consolidadas, nas quais os taludes das ruas estão estabilizados, os cortes e aterros protegidos, os sistemas de drenagem funcionam, ainda que precariamente.

3.1 ÁREAS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

As classes de produção de sedimentos representam os processos erosivos como indicadores ambientais, que quando cartografados definem as áreas de produção que geram os depósitos de assoreamento nos rios e reservatórios.

A classe I, de baixa produção de sedimentos, está restrita aos terrenos menos declivosos e suscetíveis à erosão e às formas de uso do solo que protegem melhor os terrenos, preservando suas características naturais.

A classe II, de moderada produção de sedimentos, já compreende uma variação maior em termos de suscetibilidade e uso do solo, indo de terrenos medianamente declivosos e suscetíveis, com formas de uso pouco mais agressivas. Essa classe normalmente ocorre indicando os vetores de crescimento urbano, na medida em que formas de uso mais agressivas substituem áreas com cobertura vegetal de mata e capoeiras ou nos terrenos mais suscetíveis, que em função das altas declividades, deflagram naturalmente os processos erosivos, por exemplo.

A classe III, de alta produção de sedimentos, já denota a gravidade instalada dos processos erosivos em franco desenvolvimento, o que significa que medidas de controle de erosão devem ser adotadas, há a iminência destas áreas passarem à classe IV, de muito alta produção de sedimentos, com pequenas alterações nas formas de uso do solo.

A classe IV, muito alta produção de sedimentos representa o estado de alerta em termos de criticidade. Os terrenos que estão nesta classe precisam imediatamente de soluções corretivas de controle da erosão, e possivelmente dos depósitos de assoreamento conseqüentes.

A criticidade das sub-bacias dentro de cada área estudada considerou as áreas impactadas, ou seja, as áreas classificadas como classes III e IV relativizadas quanto a área total. O objetivo desta ponderação foi o de induzir a avaliação da criticidade, levando em consideração a iminência dos impactos maiores dos processos erosivos representadas pelas áreas de classe III, e os impactos já existentes que devem ser considerados com maior peso.

QUADRO 1: Unidades geológicas presentes na área de estudo

Unidade	Características principais
A	Sedimentos fluviais quaternários, constituídos de areias, cascalhos, siltitos, argilitos, argilas orgânicas, nas áreas de várzea e no interior dos rios e reservatórios.
B	Sedimentos com variação textural, desde argilosos até arenosos, dispostos em camadas e lentes, que apresentam dois horizontes com características geotécnicas e gênese bem distintas. O horizonte superior é constituído por solo laterizado, de granulometria argilo-arenosa, apresentando-se não estruturado e em tonalidades avermelhadas. A espessura deste horizonte, normalmente é da ordem de 3m, podendo atingir 8m. O horizonte inferior é constituído por camadas e lentes intercaladas de areias e argilas. A espessura do pacote sedimentar é variável, desde alguns metros até 300m. Intercaladas aos sedimentos ocorrem crostas limoníticas com espessura de até 1m. Neste pacote sedimentar são identificados quatro níveis denominados de argilas vermelhas rijas, solos variegados, argilas duras cinza-esverdeada e areias basais.
Sedimentos da Formação São Paulo e correlatos	
C	Os xistos apresentam granulometria predominantemente fina a média, foliação bem desenvolvida, e constituição ora mais micácea e xistosa, ora mais quartzosa. Geralmente apresentam espesso manto de alteração que atingem até algumas dezenas de metros nos relevos suavizados e de alguns metros nos acidentados. O solo superficial é argilo-siltoso nos xistos micáceos e areno-siltoso nos quartzosos, com espessuras predominante de 2 a 3 metros. Os filitos apresentam granulometria muito fina, foliação bem desenvolvida, sendo constituídos predominantemente por micas. O solo de alteração normalmente é pouco espesso, da ordem de 1m. O manto de rocha muito alterada é bastante espesso, apresentando dezenas de metros nos relevos suavizados e alguns metros nos acidentados. O solo superficial é siltoso e no geral, sua espessura atinge até 1m.
Xistos e filitos do Embasamento Cristalino	
D	Os granitos apresentam granulação média a grossa. O solo de alteração é areno ou argilo-siltosa, de espessura é bastante variável, podendo atingir algumas dezenas de metros nos relevos suavizados e até ausentar-se nos mais acidentados. O solo superficial é argilo-arenoso, e apresenta espessura da ordem de 2m nos relevos suavizados e de 0,5m nos acidentados. Os gnaisses graníticos apresentam, em geral, micas orientadas e feldspatos mais desenvolvidos dentro de uma matriz fina a média. O solo de alteração é de constituição mais fina e mais micáceo que a do granito, e uma estruturação orientada. Em ambos tipos de rocha é comum a presença de matacões. Os migmatitos apresentam duas porções distintas: uma constituída por minerais micáceos, apresentando comportamento similar ao das rochas xistosas; e outra porção com predominância de feldspato e quartzo, cujo comportamento é similar ao das rochas graníticas. Essas porções se dispõem intercaladas na forma de bandas com espessuras desde centimétricas a métricas. O solo de alteração é muito variado, sendo mais comum solos silto-arenosos. Localmente ocorrem matacões imersos em solo de alteração ou em superfície. Os anfibolitos apresentam granulação variável de fina a grossa, com manto de alteração pouco desenvolvido, passando bruscamente para rocha alterada. Observa-se estrutura maciça, sendo entretanto, freqüente a ocorrência de porções orientadas. O solo de alteração é argiloso e apresenta espessura de até 5m. O solo superficial é de constituição argilosas, com espessuras de 1 a 2m. Pode ocorrer a presença de matacões. Os quartzitos apresentam a grossa e foliação marcante. O solo de alteração é arenoso e pouco desenvolvido, apresentando espessura de até 1m.
Granitos, gnaisses graníticos, migmatitos, anfibolitos, quartzitos do Embasamento Cristalino	

QUADRO 2: Unidades geomorfológicas da área de estudo

Unidade	Características principais
Planícies aluviais	Terrenos baixos e planos junto aos cursos d'água, com declividades geralmente inferiores a 5%. As planícies aluvionares são o único padrão de relevo em que ocorre só um tipo de solo, ou seja, os sedimentos aluvionares.
Colinas	Relevo suavizado, caracterizado pela predominância de amplitudes da ordem de 40 m, podendo atingir até 70 m. As declividades de encostas predominantes são de até 20%, e entre 20 a 30% e superior a 30%. As encostas são levemente sulcadas por linhas de drenagem. Os topos das elevações são amplos e arredondados. Os vales são abertos com planícies aluviais restritas.
Morrotes	Constitui relevo ondulado, caracterizado pela predominância de amplitudes em torno de 60 m, podendo atingir até 90 m. as declividades de encostas predominantes são de até 30%, no terço inferior de algumas encostas e cabeceiras de drenagem. As encostas apresentam densidade de linhas de drenagem variável, sendo maior nas encostas mais íngremes. Os topos são relativamente amplos e alongados. Os vales são fechados com planícies aluviais restritas.
Morrotes baixos isolados	Morrotes alongados e em “meia laranja” com amplitudes predominantes entre 40 e 50m que se destacam em meio a planícies colúvio-aluvionares. Declividades predominantes são de 30 a 40%. As encostas apresentam-se sulcadas por linhas de drenagem nos morrotes mais alongados com os topos estreitos e alongados. Os vales são amplos com planícies relativamente desenvolvidas.
Morrotes altos	Relevo ondulado caracterizado pela predominância de amplitudes entre 60 e 90 m e declividades de encosta maiores que 30%. Declividades de até 20% ocorrem em setores localizados de encostas e topos. As encostas apresentam-se intensamente entalhadas, com linhas e cabeceiras de drenagem. Os topos são estreitos e pouco extensos. Os vales são fechados com planícies aluviais restritas.
Morros baixos	Relevo ondulado, caracterizado pela predominância de amplitudes entre 90 e 110 m e declividades de encosta entre 20 e 30%. Subordinadamente, ocorrem declividades de até 20% nos topos de elevações e maiores que 30%, no terço inferior das encostas e nas cabeceiras de drenagem. As encostas apresentam-se sulcadas por linhas e cabeceiras de drenagem. Os topos das elevações são estreitos e alongados. Os vales são fechados e assimétricos, com planícies aluviais restritas.
Morros altos	amplitudes predominantes entre 140 e 160 m, podendo atingir até 200 m. Declividades predominantes entre 20 e 30% nas porções superiores das encostas, e maior que 30% nas porções inferiores. Subordinadamente, entre 10 a 20% nos topos. As encostas apresentam-se bastante entalhadas, com grotas profundas e cabeceiras de drenagem. Os topos são estreitos e alongados, e os vales são fechados.
Serras e escarpas	Nas serras, a amplitude predominante é da ordem de 300 m, podendo atingir até 400 m, com declividades de encosta maiores que 30% e restritamente entre 20 e 30%, nos topos. As encostas são bastante entalhadas, sendo freqüente a ocorrência de cabeceiras de drenagem e grotas profundas. Os topos são estreitos e alongados e os vales fechados e abruptos. Nas escarpas, as amplitudes variam de 100 a 200 m e predomiam declividades de encosta da ordem de 60%.

QUADRO 3: Categorias de uso do solo da área de estudo. Extraído da SMA(1998)

Categorias de uso do solo	Características
1	capoeira inicial, capoeira média a avançada, reflorestamento, vegetação de várzea
2	núcleo urbano
3	agricultura, pastagem, campo e chácaras
4	área de expansão urbana, área de mineração e área de empréstimo

QUADRO 4 - Classes de produção de sedimentos para a área de estudo

Unidades Geomorfológicas	Unidades Geológicas	Categorias de uso do solo			
		1	2	3	4
Planície	A	I	I	II	II
Colinas	D	I	I	II	III
	C	I	II	II	III
	B	I	II	II	III
Morrotes baixos	D	I	II	II	IV
	C	I	II	II	IV
Morrotes	D	I	II	III	IV
	C	I	II	III	IV
	B	II	III	III	IV
Morrotes altos	D	II	III	III	IV
Morros baixos	D	II	III	III	IV
	C	II	III	III	IV
	B	III	IV	IV	IV
Morros altos	D	III	IV	IV	IV
	C	III	IV	IV	IV
Serras e escarpas	D	IV	IV	IV	IV

CLASSES DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

I - BAIXA

II - MODERADA

III - ALTA

IV - MUITO ALTA

3.2 DATAÇÃO DE SEDIMENTOS

A datação de sedimentos foi realizada em um testemunho coletado pelo Piston Corer, no ponto 26, no interior do reservatório. A localização deste ponto está representada na figura 7, e a curva radiométrica pelo método do Pb210 na figura 8. De acordo com a curva, a idade máxima para a amostra coletada é de 1910, para os sedimentos que estão a 51 cm de profundidade. Nota-se também que em alguns períodos ocorreram diferentes taxas de sedimentação, representadas por diferentes declividades da curva. Discretizando-se os intervalos em décadas, construiu-se o gráfico de evolução das taxas de sedimentação mostrado na figura 8.

A variação nas taxas de sedimentação está certamente relacionada aos eventos chuvosos mais expressivos, ou excepcionais e à evolução do uso do solo na bacia contribuinte, ou seja, ao desenvolvimento do município de Ribeirão Pires, localizado no delta do Córrego Ribeirão Pires.

Buscando integrar estes condicionantes, construiu-se o gráfico da figura 9, que relaciona o número de ocorrências de pluviosidade acumulada mensal superior a 300mm por década, para o posto da Luz, em São Paulo, que é o posto que contém os dados mais antigos para a região (desde 1888). No mesmo gráfico, no eixo da direita, foram plotadas as taxas de sedimentação calculadas pela datação.

As curvas traçadas apresentam coerência com as fases deposicionais do sistema analisado. O enchimento do reservatório, em 1925 gerou o remanso nas águas contribuintes com aumento da deposição de sedimentos mais finos, que antes eram levados a jusante. Somado a este fato, ocorreram vários eventos chuvosos excepcionais nas décadas de 30 e 40, também responsáveis pelo aumento das taxas de sedimentação.

Uma vez instalado o novo ambiente deposicional, o sistema foi acomodando-se com redução das taxas no ponto analisado, provavelmente pela deposição ocorrida a montante. Porém, com a expansão da área urbana do município de Ribeirão Pires, nas décadas de 70 e 80, provavelmente devido a grande exposição de solo gerada por cortes, aterros e terraplenagens, as taxas de sedimentação voltaram a subir, estabilizando-se na década de 90, com a consolidação da área urbana do município e diminuição da velocidade de crescimento do mesmo.

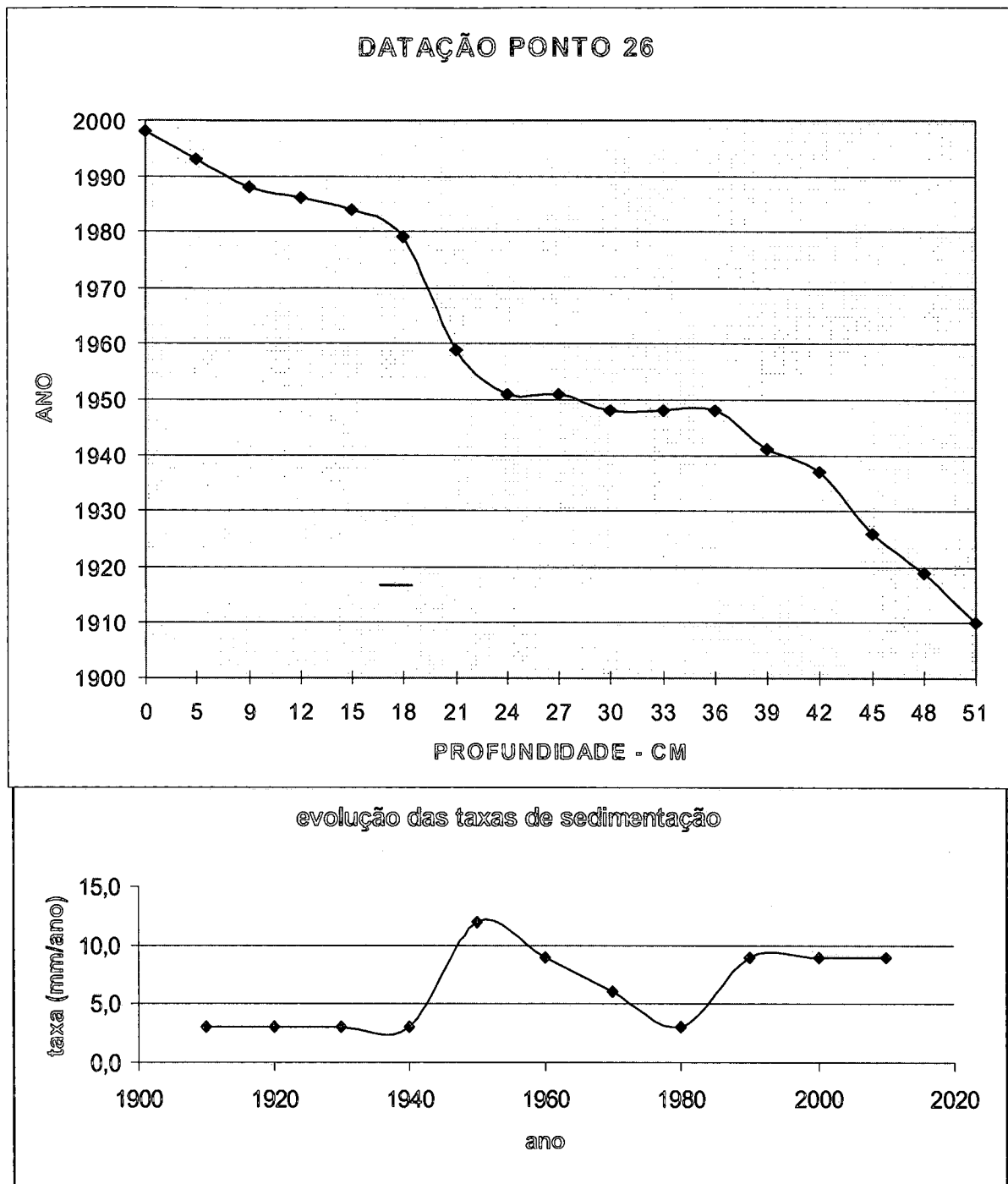


Figura 8: Curva de datação de sedimentos do testemunho do ponto 26 pelo método radiométrico do Pb210 (acima) e curva de evolução das taxas de sedimentação (abaixo).

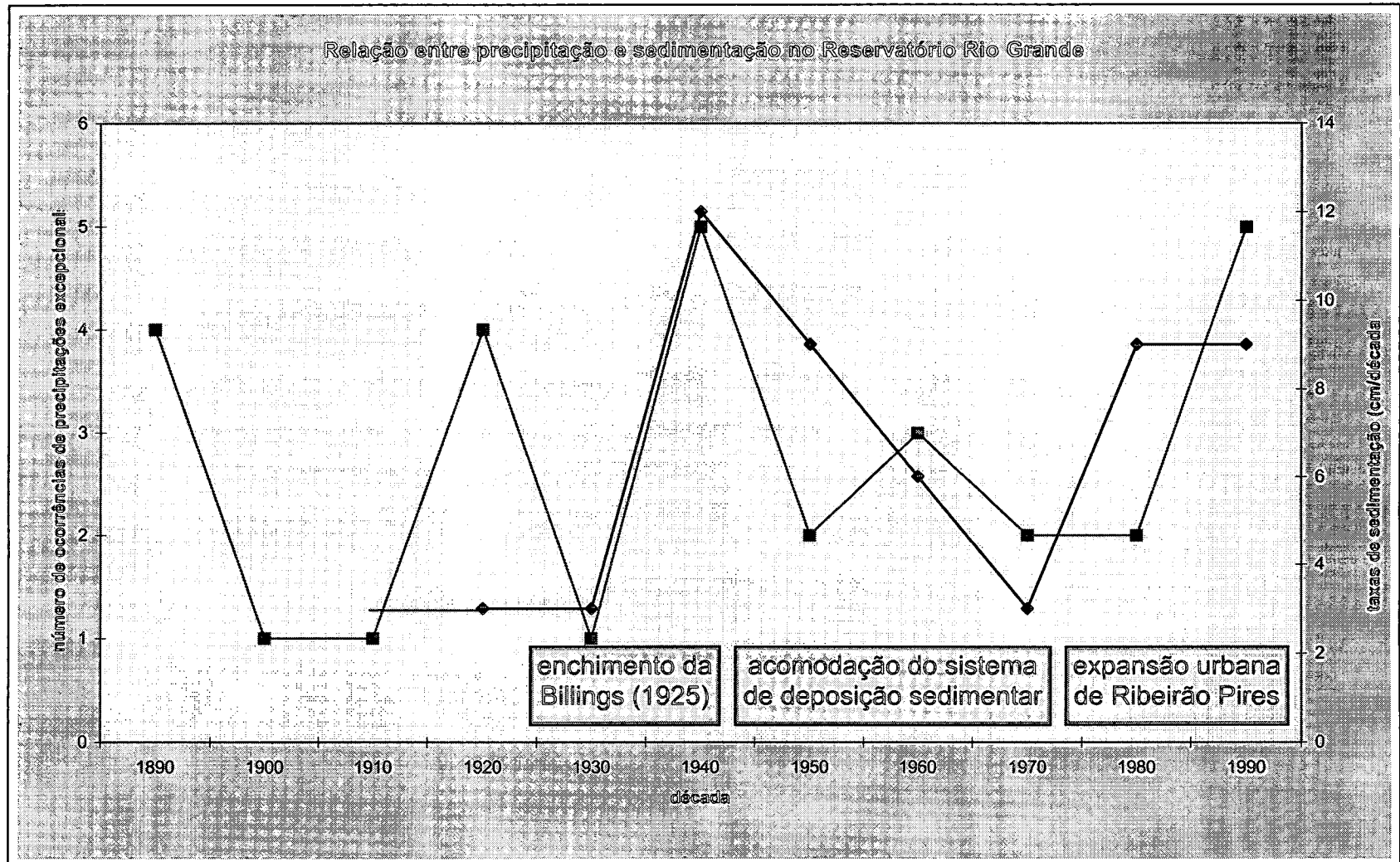


Figura 9: Evolução sedimentar do assoreamento em função das taxas de sedimentação e das ocorrências de chuvas excepcionais na região. Em azul está representada a curva das taxas de sedimentação, baseada na curva da datação pelo Pb210, e em rosa, o número de ocorrências de precipitações excepcionais (acumulados mensais superiores a 300mm, segundo dados do DAEE, 1998).