

Dessa forma, constituem componentes do sistema que representa o vale de Santarém, as sub-bacias do Dique Eixo 1, da Barragem Nova Santarém e dos Dique S2 e Dique S3. No entanto é importante ressaltar que as sub-bacias controladas pelas barragens do Germano e de Fundão, localizadas a montante deste trecho, participam deste processo de transferência longitudinal de produtos de erosão.

(b) Trecho compreendido entre o Dique S3 e o povoado de Bento Rodrigues

O trecho situado entre o Dique S3 e o Dique S4, abrange a área onde se localizava o povoado de Bento Rodrigues, fortemente impactado pelo efeito da propagação da onda de ruptura da Barragem do Fundão. Atualmente, destacam-se nessa extensão: (i) o barramento do Dique S4, que abrange um lago que ocupa toda a extensão longitudinal possível, ou seja, que não interfere com as benfeitorias de valor histórico da localidade de Bento Rodrigues (Foto 5.11); e (ii) a massa de rejeitos/lama (Foto 5.12) disposta principalmente ao longo da margem esquerda do córrego Santarém, constituindo o novo substrato litológico da porção devastada da vila.



Foto 5.11 – Reservatório do Dique S4, referente ao mês de dezembro de 2016.

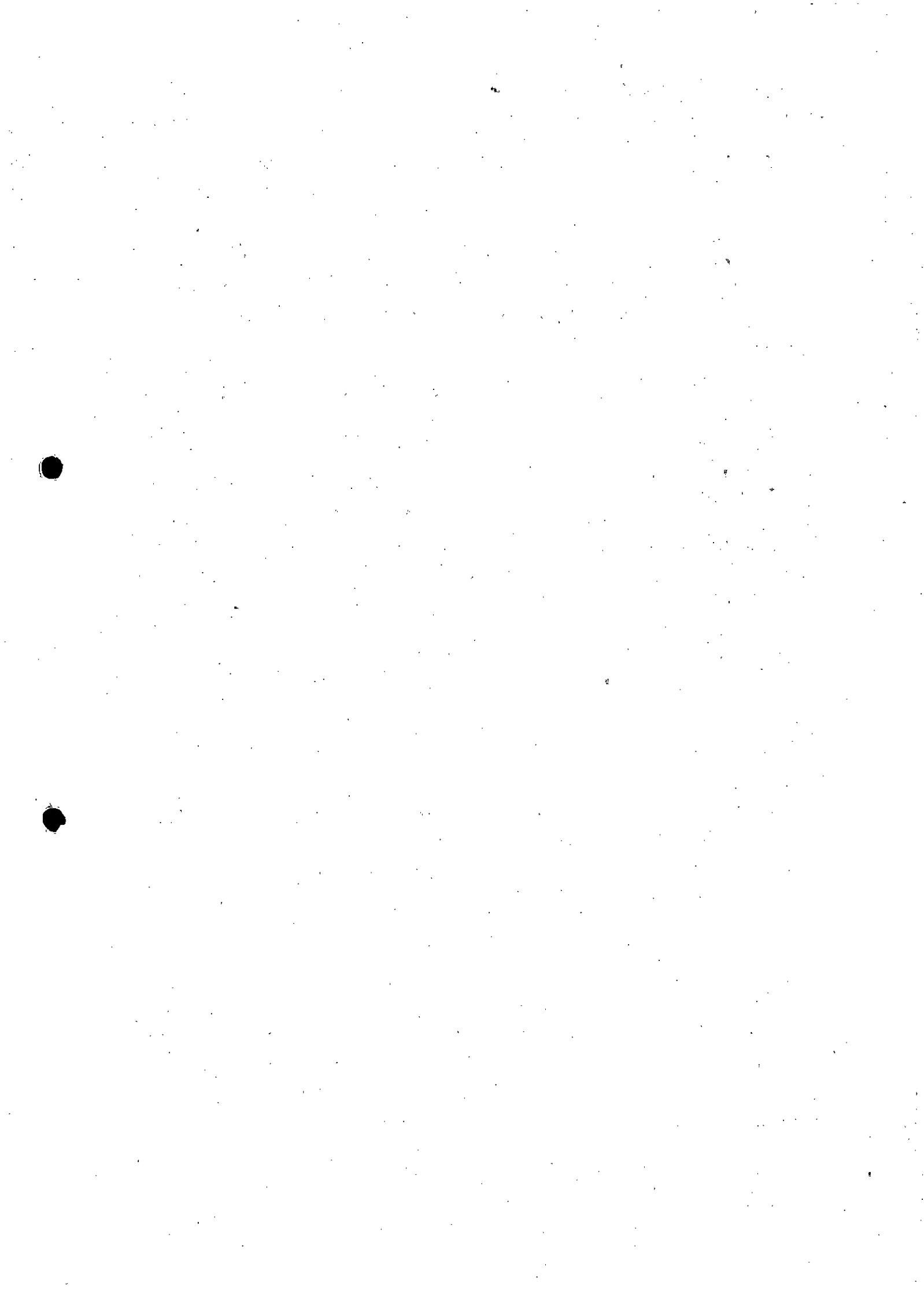


Foto 5.12 - Massa de rejeitos residuais acumulada pelo rompimento na área do povoado de Bento Rodrigues.

A configuração local do Sistema Erosivo inclui as duas modalidades reinantes no trecho anterior, com destaque para a que ocorre no caso específico das áreas cobertas pelos rejeitos, felizmente caracterizadas por declividades baixas e sujeitas a um processo de recuperação da cobertura vegetal, por via do plantio efetuado e da regeneração espontânea.

(c) Trecho compreendido entre o povoado de Bento Rodrigues e a foz no rio Gualaxo do Norte

O trecho situado entre o Dique S4 e a foz do córrego Santarém no rio Gualaxo do Norte é extremamente curto (cerca de 150 m) para contribuir de modo significativo com uma parcela da



produção erosiva do vale de Santarém aos cursos de água de jusante.

5.4.3 Estimativa da Produção de Sedimentos de Bacias em Condições Naturais

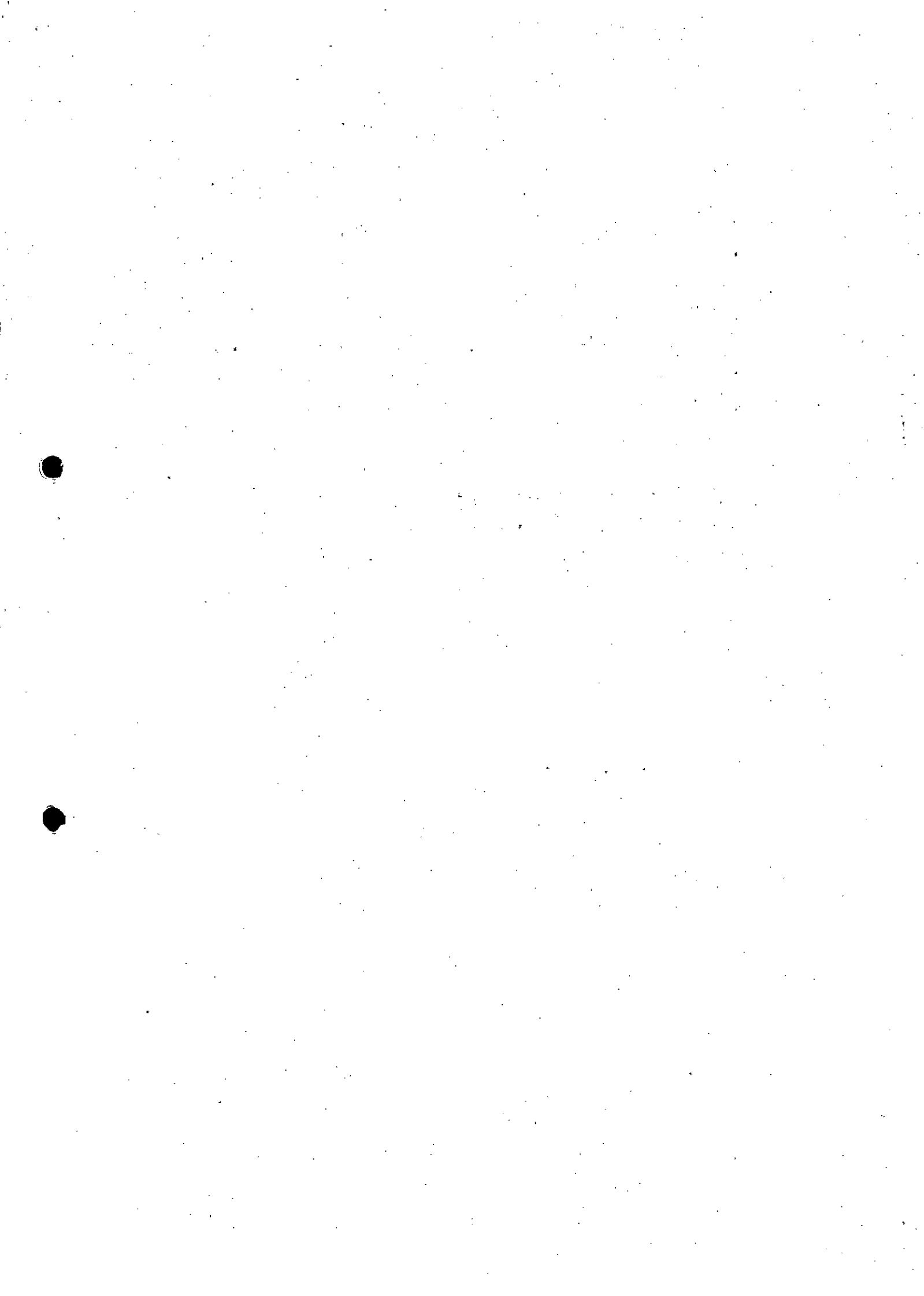
Para permitir a estimativa dos valores de produção de sedimentos oriundos dos processos de erosão em condições naturais, procurou-se obter a melhor aproximação possível com as condições ambientais da bacia do córrego Santarém. Por esse motivo, a avaliação foi realizada dentro dos limites da própria bacia.

Neste sentido, a citada avaliação foi feita por meio do método da Equação Universal de Perda de Solos (RUSLE) no contexto das microbacias componentes da bacia do córrego Santarém (ver Figura 4.30 – Capítulo 4), eliminando-se as áreas de acumulação (reservatórios dos diques nos fundos do vale, acumulação de rejeitos da barragem do Germano, cava da Mina Fábrica da Vale, entre outras interferências antrópicas). A adoção desse procedimento, que representam a melhor prática no contexto do estado da arte atual de técnicas desse tipo, permitiu diferenciar, com base nos dados disponíveis, as produções correspondentes a cada tipo de uso e ocupação do solo, bem como computar valores que retratam as perdas de solo para condição ambiental existente na bacia.

5.4.3.1 Metodologia Utilizada

A avaliação quantitativa da perda de solo ocasionada pelo escoamento superficial das águas de chuva, nas condições consideradas “naturais” da bacia do córrego Santarém, foi efetuada com uso da Equação Universal de Perda de Solo (WISCHMEIR & SMITH, 1978). Esta equação foi concebida, pelos cientistas do Serviço de Pesquisa Agrícola, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), para a predição da média anual de perda de solo causada por erosão.

Apesar de diversos autores terem avaliado o uso de várias equações empíricas para a mesma finalidade (Amorim *et al.* 2010), a RUSLE é, atualmente, a equação mais aceita e utilizada internacionalmente para o cálculo de perda de solo. No Brasil, seu uso foi ampliado pela possibilidade de espacializar os resultados usando os recursos da plataforma ArcGis (BOTELHO, 2015; FARINASSO, 2006, MINELLA *et al.*, 2010; NEVES *et al.*, 2011, entre outros). No caso em apreço, ela foi utilizada pela equipe canadense da GOLDER Associates (2016), para quantificar a erosão dos volumes de rejeitos remanescentes nas planícies dos cursos de água impactados pela corrida de rejeitos/lama do rompimento da Barragem do Fundão. Neste caso, os autores adotaram os valores dos parâmetros da equação propostos por Renard *et al.* (1997), principalmente.



A RUSLE é expressa como um produto de seis variáveis, “ $E = R.K.L.S.C.P$ ”, denominados fatores controladores da erosão, sendo quatro deles (R, K, L, S) relacionados a condições naturais e dois (C, P) a condições antrópicas. Os termos da citada equação são indicados na Tabela 5.8.

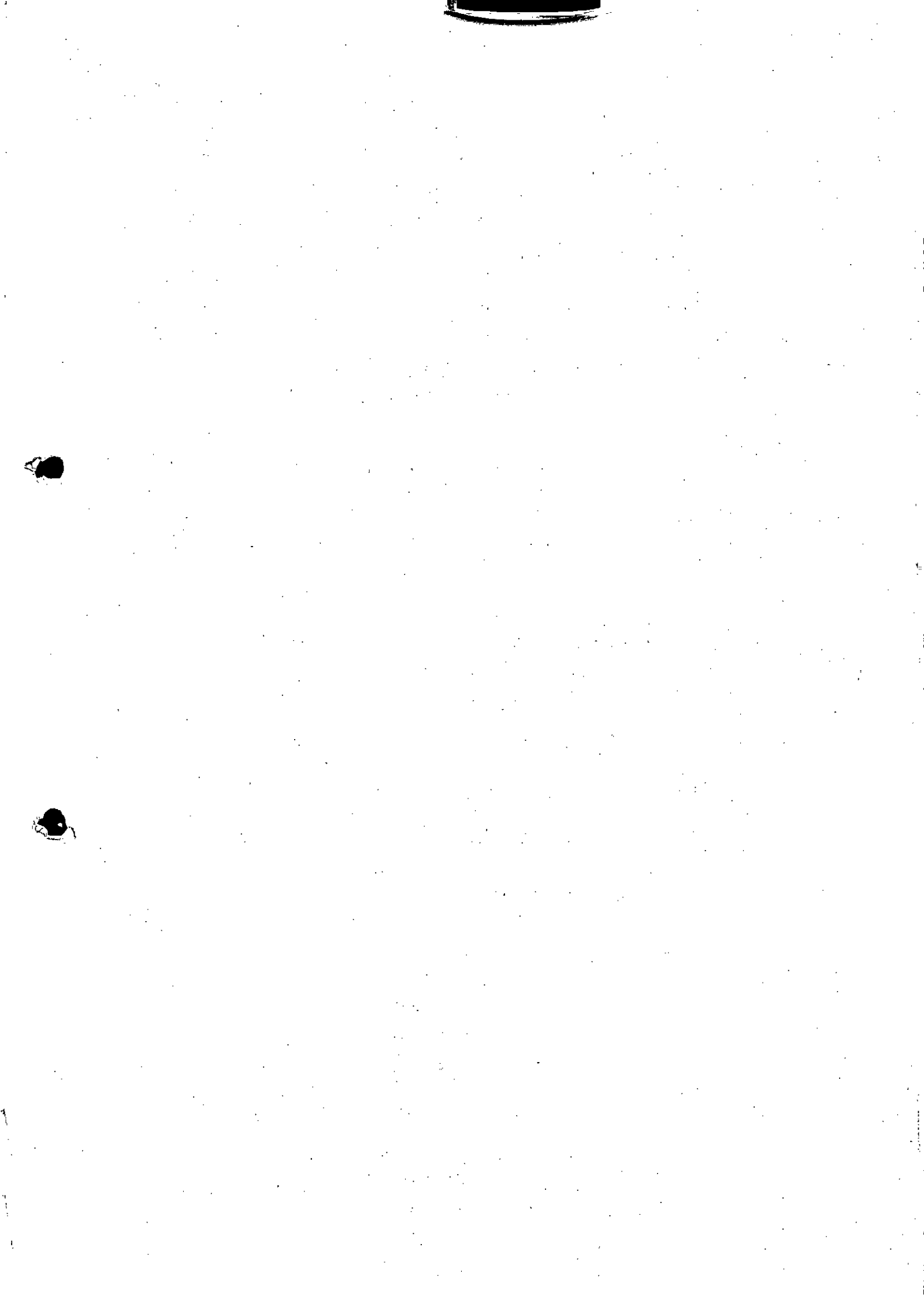
Tabela 5.8 – Termos da equação de perda de solo: EUPS - Universal Soil Loss Equation.

Termo	Unidade	Explicação
E	$t.ha^{-1}.ano^{-1}$	Perda de solo por unidade de superfície
R	$MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$	Fator erosividade da chuva, que expressa a energia do impacto das gotas. Calculado, originalmente, com base na intensidade das chuvas em períodos de 30 min.
K	$t.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$	Fator erodibilidade do solo, que expressa o potencial de erosão do solo principalmente em função de suas características texturais,
L	adimensional	Fator comprimento de rampa, que expressa maior erodibilidade quanto mais longa for a rampa. Associado ao fator S para composição do Fator Topográfico.
S	adimensional	Fator declividade, que expressa maior erodibilidade quanto maior for a declividade. Associado ao fator L para composição do Fator Topográfico.
C	adimensional	Fator cobertura do solo e manejo, que expressa o quanto o tipo de uso do solo expõe a área à erosão.
P	adimensional	Fator prática conservacionista, que expressa a importância da proteção oferecida pelas práticas conservacionistas implantadas.

Os termos L, S, C e P são expressos como fatores adimensionais, sendo que os termos L e S são associados para compor o referido Fator Topográfico LS. Tal fator, além de refletir a influência da topografia sobre o potencial de erosão, incorpora também, na equação revisada, o perfil das convexidades e concavidades do relevo (...) “*using segmentation of irregular slopes and by improving the empirical equations for the computation of LS factor*” (MITASOVA, 1996).

Outro fator importante a ser considerado neste estudo é a fidedignidade do método para observar o fenômeno erosivo, uma vez que tal forma de abordagem deve considerar somente as áreas doadoras/produtoras de sedimentos. Isto implica em dizer que, assim como descrito por Mitsova (1996), as áreas deposicionais devem ser desconsideradas da análise, por não constituir áreas de produção de sedimentos.

Considerando as diferenças de ambiente e a menor disponibilidade de dados necessários para a utilização de vários termos da equação, pesquisadores brasileiros em agronomia e geomorfologia vêm, desde décadas, procurando maneiras de adaptar o uso da equação à realidade nacional, sendo os de maior destaque Bertoni & Neto (1985, 1999) e Amorim *et al.* (2010). Em função do exposto, no caso deste trabalho, foram utilizados os procedimentos caracterizados na sequência.



(a) Cálculo dos valores do fator erosividade das chuvas (R)

Uma das limitações para o emprego da RUSLE reside na falta de informações adequadas relativas às condições pluviométricas que permitem calcular o índice de erosividade correspondente. Neste sentido, procura-se recorrer a valores calculados a partir de interpolações realizadas por pesquisadores tais como Silva (2004), que, no entanto, nem sempre atendem à escala do trabalho em questão.

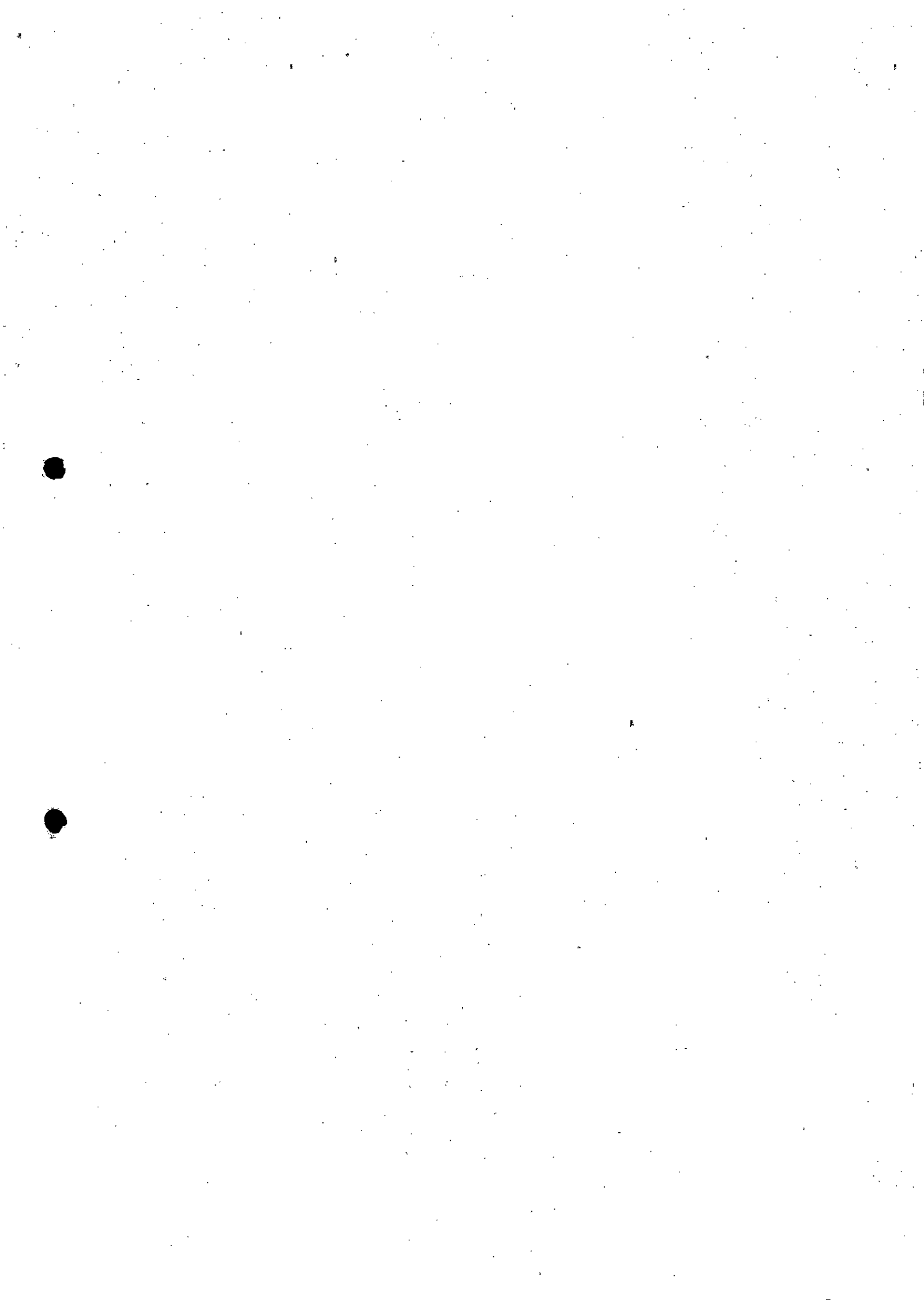
Mas, no caso de Minas Gerais, o problema foi superado graças ao trabalho de pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa (MOREIRA et al. 2008), que disponibilizaram um software, denominado *Net Erosividade MG*, codificado para esta funcionalidade. Portanto, neste trabalho, a erosividade das chuvas teve seu fator R calculado pelo uso deste aplicativo, baixado gratuitamente, no endereço <http://www.ufv.br/dea/gprh>. Além de fornecer todos os valores de erosividade, para todos os municípios mineiros, o programa permite o cálculo do índice para qualquer localidade do estado, introduzindo-se as coordenadas e a altitude do ponto.

Uma avaliação simples e aproximada de uma média do índice de erosividade para uma dada estação pode também ser calculada pela equação $Ei30 = 67,355 (r^2 / P)^{0,85}$; na qual $Ei30$ corresponde à média mensal do índice de erosividade; r à média do total mensal de precipitação (mm); e P à média do total anual de precipitação (mm). O cálculo de R é feito pela soma dos resultados dos valores mensais de $Ei30$.

Neste trabalho, o índice de erosividade das chuvas ($Ei30$) foi calculado com o “Net Erosividade MG”, para cada microbacia, usando como ponto espacial referencial, o centroide da poligonal de sua área. A Tabela 5.9, apresentada por Carvalho (2008), fornece uma ideia dos valores a serem obtidos quando se estima a erosividade pelo índice Ei .

Tabela 5.9 - Classificação da erosividade em relação à intensidade (Carvalho 2008)

Erosividade R (Mj mm/hah ano)	Classes de Intensidade
$R \leq 2452$	Baixa
$2452 < R \leq 4905$	Média
$4905 < R \leq 7357$	Média a Forte
$7357 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito forte



(b) Cálculo dos valores de erodibilidade dos solos

O índice de erodibilidade dos solos é obtido através de análises demoradas das características texturais dos solos. No caso presente, os valores de K resultaram de uma ampla consulta a trabalhos científicos que apresentam a identificação de valores para os principais tipos de solos brasileiros.

Deve-se ressaltar que, tanto as avaliações em grandes áreas e bacias hidrográficas brasileiras, quanto os resultados obtidos a partir de estudos experimentais, inclusive com simulações de chuva, apresentaram resultados similares ou muito próximos para os diversos tipos de solos.

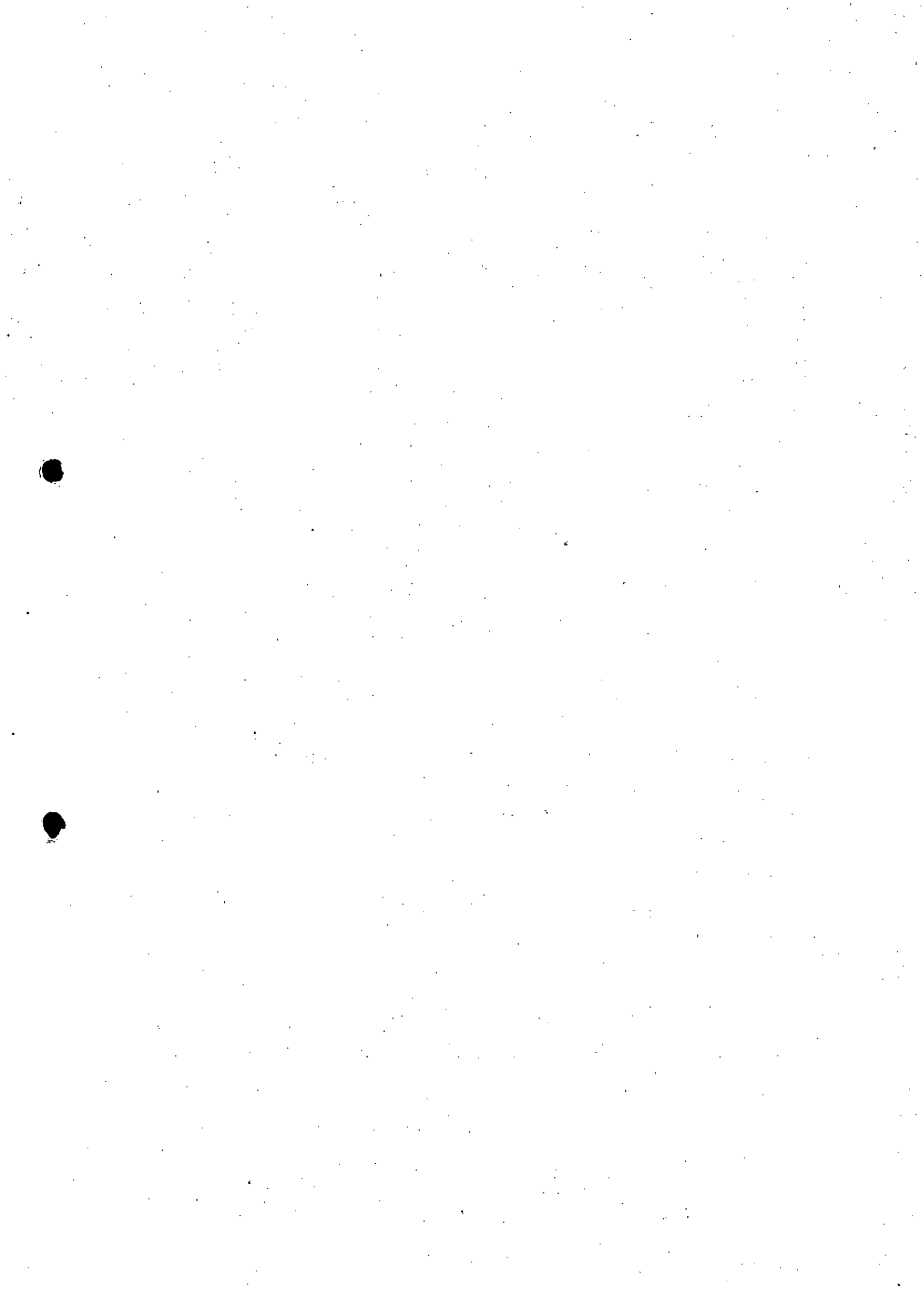
Em função disto, foram considerados, em primeiro lugar, os valores obtidos por Bertoni & Lombardi Neto (1990), cujos trabalhos são fruto de exaustiva síntese de análise de solos brasileiros (Tabela 5.10). Para ajustar os índices a serem aplicados no caso da bacia hidrográfica do córrego Santarém, considerou-se, também, a síntese realizada por Baptista (1997), cujos valores são apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.10 - Valores de erodibilidade de solos brasileiros (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Classes de Solo	Erodibilidade K (t/ha.MJ.mm)
Latossolos	0,0175
Argissolos	0,0350
Nitossolos	0,0296
Neossolos	0,0296
Gleissolos	0,0000
Chernossolos	0,0175

Tabela 5.11 - Valores de erodibilidade dos solos brasileiros (Baptista, 1997).

Grandes Grupos de Solos	Erodibilidade (t/ha.MJ.mm) Nomograma Wischmeier <i>et al.</i> (1971)
Latossolo vermelho-escuro	0,013
Latossolo vermelho-amarelo	0,020
Podzólico vermelho-amarelo	0,042
Podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico	0,030
Terra roxa estruturada similar	0,013
Cambissolo	0,024
Aluviais	0,029
Hidromórficos indiscriminados	0,031
Areia quartzosa	0,027
Brunizem avermelhado	0,038



Botelho (2015) apresentou valores médios de (K) compilados para as unidades de mapeamento dos solos encontrados por um grande número de pesquisadores na bacia hidrográfica do rio Samambaia, estado de Goiás. Os valores apresentados, atribuídos a associações de solos, respaldam os valores defendidos pelos autores anteriormente citados. Uma ideia da importância da erodibilidade relacionada aos valores que se pode obter é fornecida pela Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Valores de K e importância da erodibilidade (Adaptado de Mannigel *et al.* 2002).

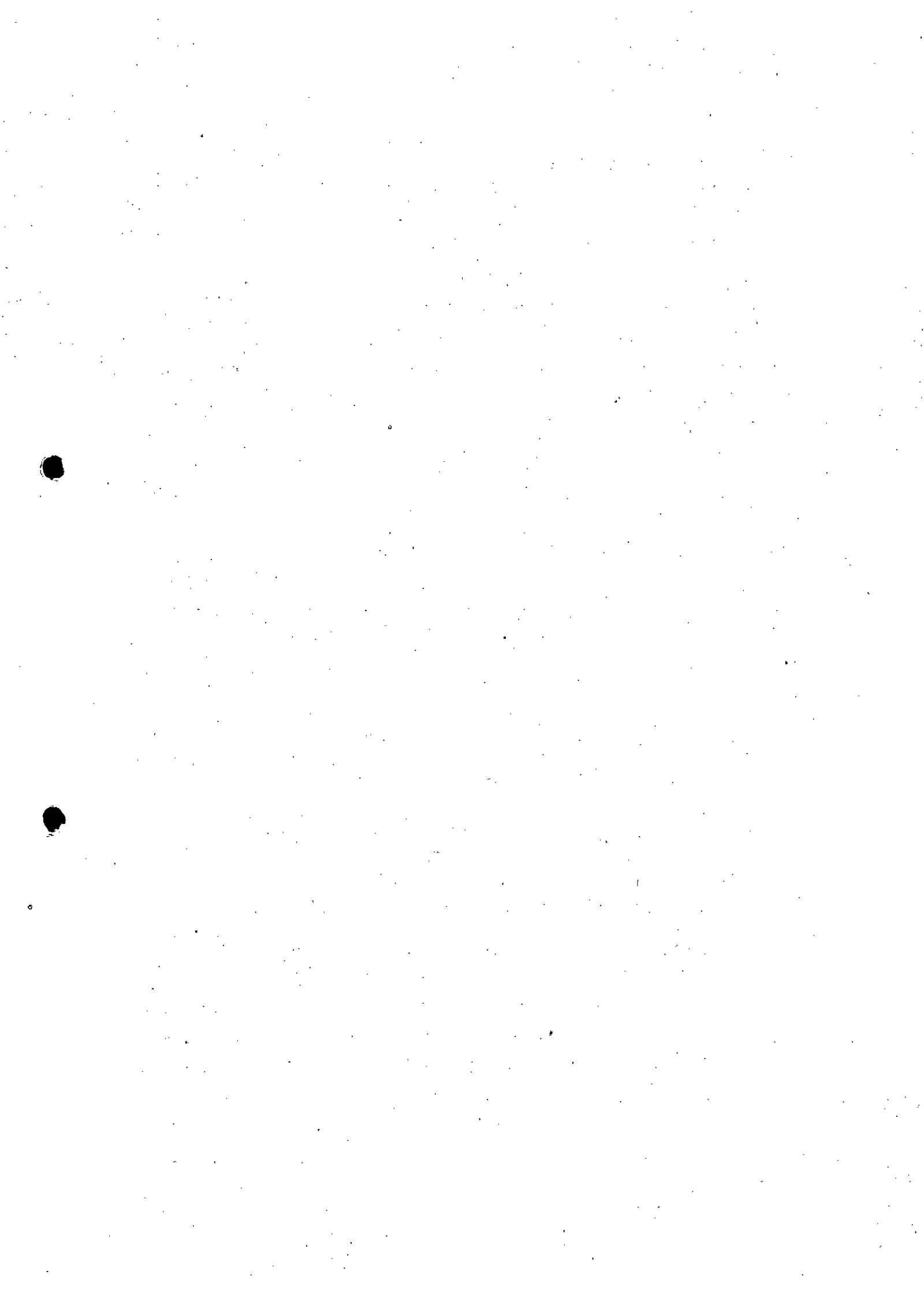
Erodibilidade	Erodibilidade K (t/ha.MJ.mm)
Extremamente alta	> 0,0600
Muito alta	0,0450 – 0,0600
Alta	0,0300 – 0,0450
Média	0,0150 – 0,0300
Baixa	0,0090 – 0,0150
Muito baixa	< 0,0090

(c) Determinação dos valores do Fator Topográfico LS

O fator topográfico LS foi calculado a partir do método recentemente desenvolvido por Mitasova *et al.* (1996), da University of Illinois at Urbana-Champaign (EUA), o qual é baseado em modelos tridimensionais do relevo (MDT). Este método permite determinar os valores do fator LS modificado para terrenos complexos, conforme é o caso da bacia do córrego Santarém, e é baseado no trabalho anterior de Tarboton (1997). Este autor desenvolveu um método para calcular múltiplos comprimentos de rampa para determinar a menor área de contribuição do local onde se mede a declividade.

Trata-se de um procedimento bastante complexo, que consiste em uma forma de discretização da topografia da bacia, para efetuar o cálculo dos produtos da inclinação dos interflúvios pelo comprimento da rampa (na realidade substituído pela menor área de contribuição), em inúmeras pequenas áreas nas quais a bacia é subdividida. O procedimento, efetuado por via de algoritmos implementados em ambiente SIG e disponíveis, para uso público, em Mitasova & Brown (2013), resulta também na espacialização dos valores do índice LS.

Cabe destacar, assim como conclui Simões (2013), que o fator LS é determinado pelas constantes acima mencionadas, mas também pela relação escalar inerente aos dados topográficos de entrada. Ou seja, a qualidade e precisão dos insumos utilizados nas análises será determinante para compor os resultados processados.



Segundo o citado autor, a variação entre a área representada por poligonais ou pixels da matriz expressará uma variação dos resultados do fator LS, de modo que, quanto mais fina for a escala utilizada, maior será o resultado do fator LS. Geomorfológica e cartograficamente, quanto mais precisas forem as representações das rugosidades dos terrenos, tão maiores serão computáveis os ângulos entre distâncias horizontal e vertical e, da mesma forma, os comprimentos dessas distâncias, ou comprimentos de rampas. Neste estudo foram utilizados dados topográficos com equidistância de 1 m, cuja matriz resultante abriga células com a mesma medida, ou 1 m².

(d) Identificação dos valores do Fator CP: uso e ocupação do solo *versus* práticas preservacionistas

Os fatores C e P são fatores adimensionais, cujos valores dependem fortemente das condições ambientais e das práticas de uso e manutenção dos espaços adotados em cada região. Esses valores são obtidos a partir de processos experimentais de avaliação de perda de solo. No Brasil, para uso na RUSLE, Bertoni & Lombardi Neto (1990) preconizam o uso dos valores contidos na Tabela 5.13, baseados nos resultados obtidos em áreas rurais do sudeste Brasileiro.

Tabela 5.13 - Fatores P e C da RUSLE (Bertoni & Lombardi Neto, 1990)

Uso e Cobertura do solo	Fator C	Fator P
Floresta Nativa	0,004	0,200
Pastagem	0,030	0,500

No entanto, uma cartografia do uso e ocupação do solo extremamente detalhada, tal como a ilustrada na Figura 5.8 e elaborada para a área da bacia do córrego Santarém com base na análise de imagem de satélite recente da área com resolução de 0,5 m e controle de campo, revelou uma extrema variabilidade dos tipos de uso do solo. Em função disso, foi preciso buscar melhores referenciais para a atribuição de valores aos fatores C e P.

Este referencial, encontrado na compilação mais ampla e sintética elaborada por Stein *et al.* (1987), apresenta a vantagem de usar um único valor referente ao produto dos dois fatores, conforme prática utilizada pela maior parte dos pesquisadores (Tabela 5.14). Este procedimento resulta, portanto, no uso de um único fator CP para cada combinação de uso e ocupação do solo com prática conservacionista identificado na área dos estudos.

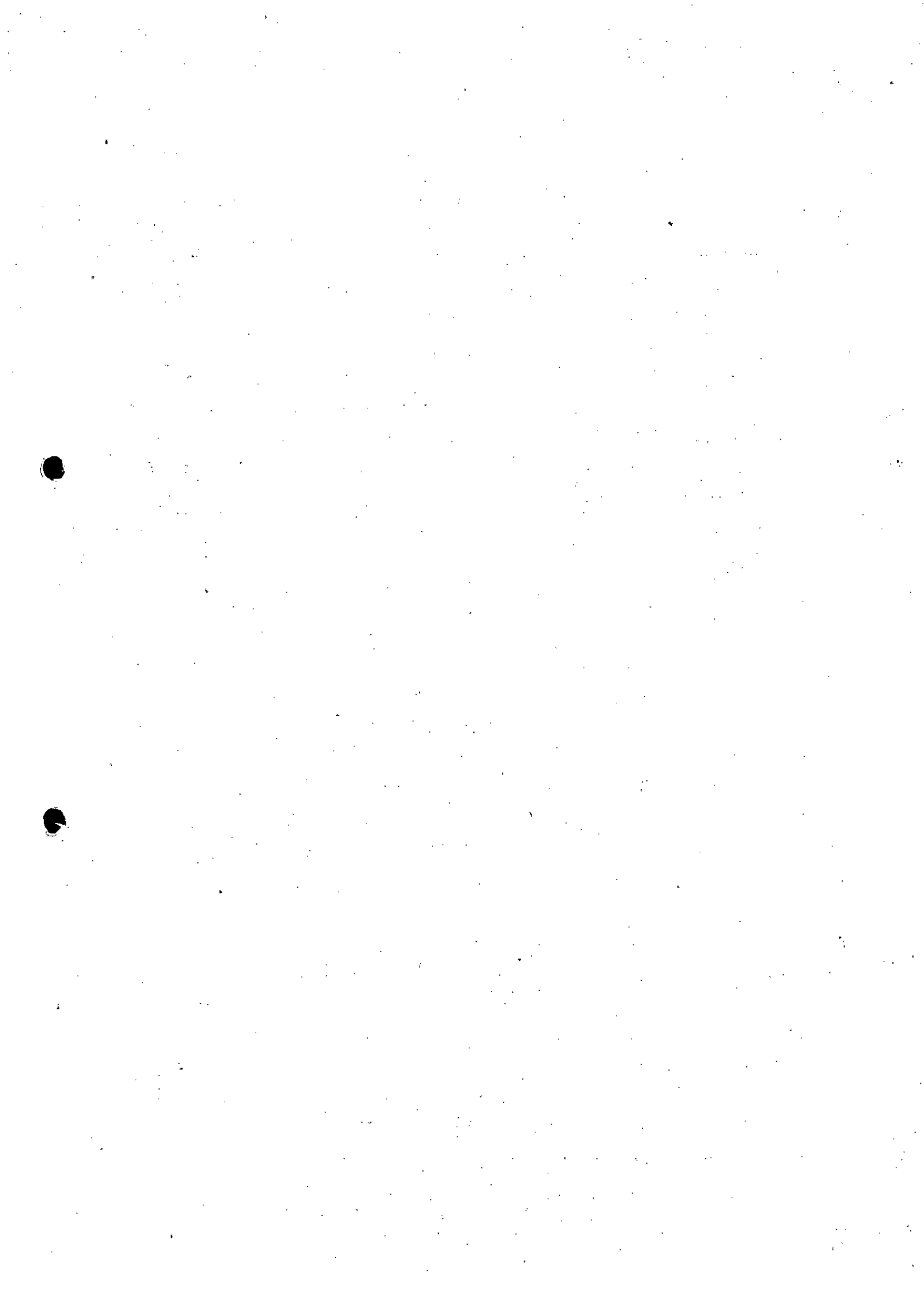


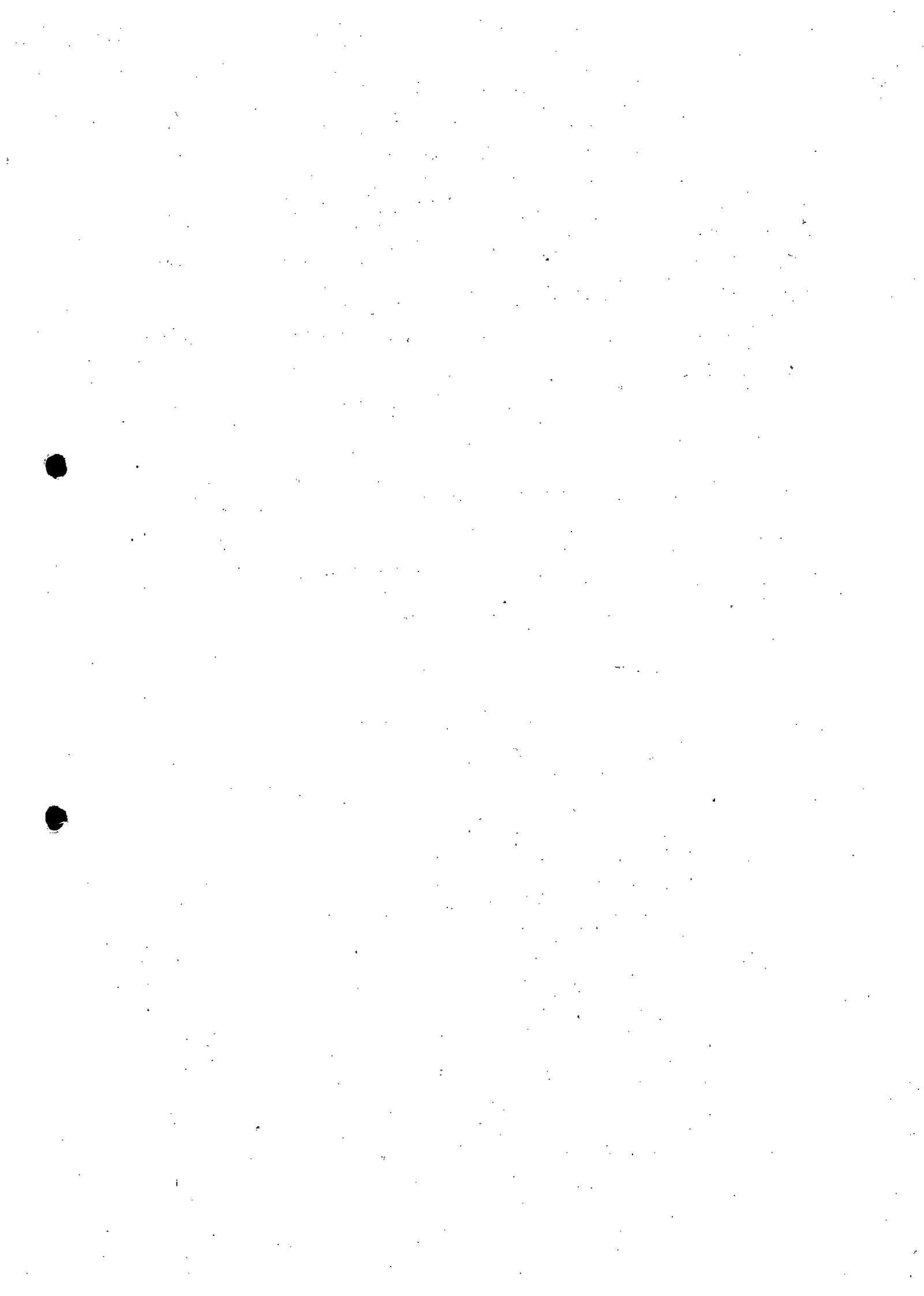
Tabela 5.14 - Valores do fator CP para diversas combinações de uso e ocupação do solo com práticas conservacionistas (Stein *et al.* 1987).

Grupo	Categoria	CP (adimensional)
Vegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno	-	0,00004
	Floresta	0,00004
	Vegetação secundária	0,00004
	Cerradão	0,00004
	Reflorestamento	0,0001
Vegetação de porte médio a baixo, cobertura total do terreno	-	0,01035
	Cobertura residual	0,0007
	Cerrado	0,0007
	Cultura permanente	0,02
	Cana-de-açúcar	0,05
Vegetação de porte médio a baixo, cobertura parcial do terreno	-	0,25
	Cobertura residual	0,25
	Cultura permanente	0,25
Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno	-	0,01
	Cobertura residual	0,01
	Pastagem	0,01
	Cultura temporária	0,2
	Campo cerrado	0,01
	Campo natural	0,01
Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno	-	0,1
	Cobertura residual	0,1
	Pastagem	0,1
	Cultura temporária	0,2
Ocupações naturais diversas	-	0
	Várzea	0
	Espelho d'água	0
Ocupações antrópicas diversas	-	0
	Área urbana e Estrada	0

(e) Modo de determinação dos valores aplicados aos fatores da RUSLE

Os valores de perda de solo foram calculados para cada uma das microbacias pertencentes à bacia do córrego Santarém, conforme citado anteriormente, sendo estas delimitadas pelos principais barramentos (barragem ou dique) implantados pela SAMARCO. Para a determinação dos valores da RUSLE, foram utilizados os seguintes métodos:

- No caso da erosividade das chuvas (R), os valores foram determinados por meio do software "Net Erosividade MG", considerando o centroide da poligonal de cada microbacia como ponto referencial para a inserção das coordenadas e altitude.



- O fator de erodibilidade dos solos (E) foi determinado a partir dos valores constantes na compilação da literatura científica brasileira. Para a identificação e cartografia dos solos existentes na bacia do córrego Santarém (Figura 5.8), foi utilizada a carta de solos de Minas Gerais, de autoria da UFV, seguida de controle expedito de campo. No caso das massas residuais de rejeitos ainda estacionados na bacia, foi atribuído o valor máximo ($K=1$), considerando a instabilidade desses materiais e sua ainda baixa coesão, observada em campo. Sua localização espacial foi marcada pela interpretação de imagem de satélite com resolução de 0,5 m e representada no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 5.9).
- Para as condições topográficas, os valores do fator LS resultaram do procedimento que incluiu a construção de um MDT, a partir de uma base topográfica com equidistância de 1,0 m. Esta base foi compilada e consistida na plataforma ArcGis, a partir de uma série de fragmentos cartográficos fornecidos pela SAMARCO, obtidos por meio do tratamento de imagens geradas por laser. O fator LS espacial foi gerado (Figura 5.10) pelo método de Mitsova et al. (1996).
- Os valores do fator combinado CP foram atribuídos aos polígonos representando os tipos de uso e ocupação do solo resultantes da cartografia realizada pela interpretação da imagem de satélite (resolução de 0,5 m) e controle de campo (Figura 5.10). Para esta atribuição, foram utilizados os valores constantes na Tabela 5.13, e propostos por Stein et al. (1987).

5.4.3.2 Resultados Obtidos

Os resultados da aplicação do método RUSLE para a bacia do córrego Santarém são apresentados na Tabela 5.15 (síntese) e Tabelas 5.16 a 5.21 (cálculos por sub-bacia). É importante destacar que os resultados alcançados são fruto de uma avaliação quantitativa do potencial erosivo da bacia do córrego Santarém, até o Dique S4:

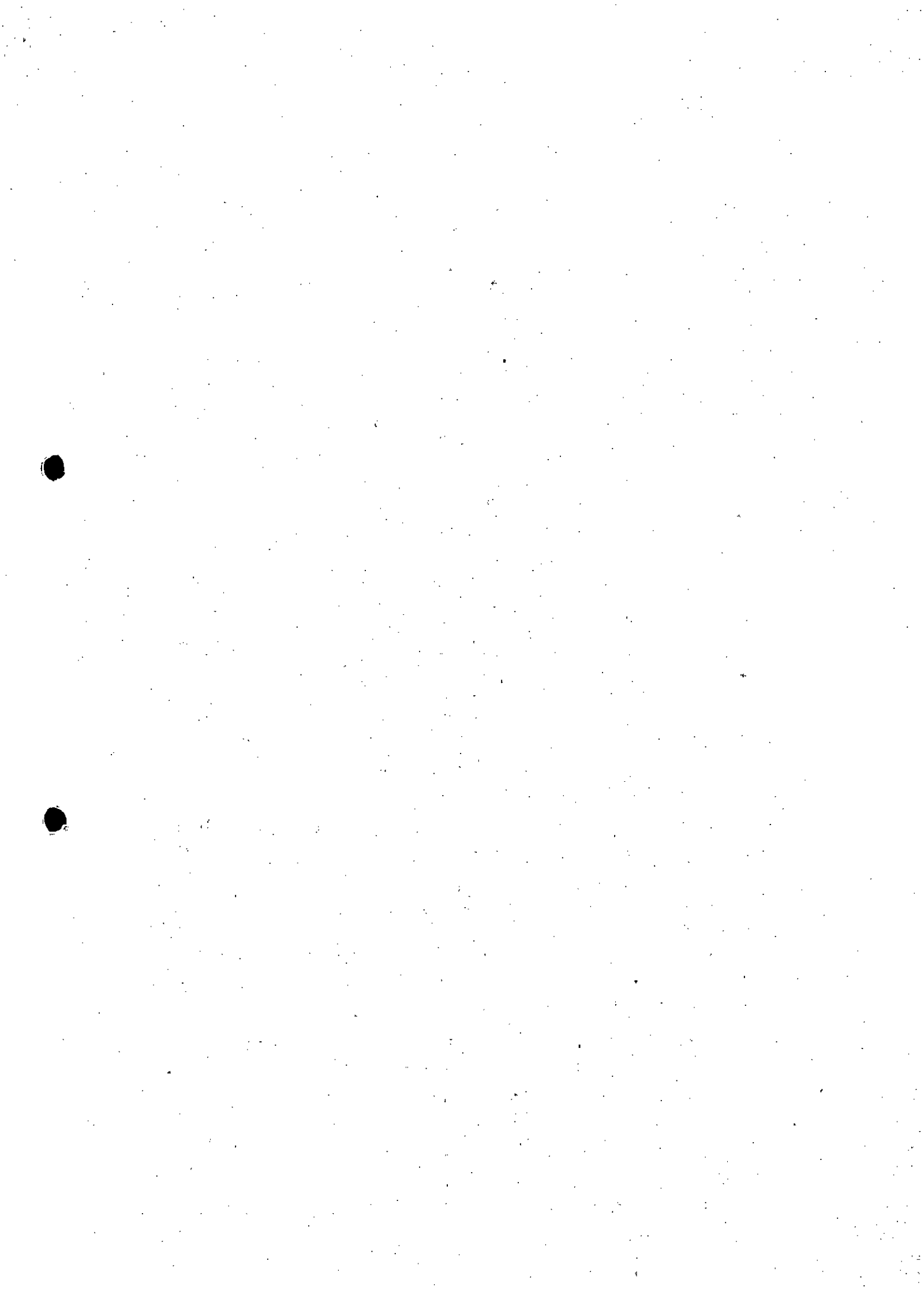
- Considerando comportamento do fenômeno erosivo ligado às condições atuais em que se encontra toda a área da bacia hidrográfica, com 54% da mesma coberta por formações florestais;
- Desconsiderando a movimentação das massas residuais de rejeitos armazenadas nos reservatórios controlados pelos vários barramentos; e,
- Considerando que os pacotes de rejeitos remanescentes, que se encontram suspensos nas partes altas de alguns microvales da bacia do Fundão, comportam-se atualmente como materiais pedológicos (S1) progressivamente incorporados ao conjunto das coberturas superficiais da bacia, fato observado em campo.

Sintetizando os dados apresentados na Tabela 5.15, pode-se concluir que, adotando-se o valor de densidade utilizado por GOLDER (2016) e equivalente a $2,5 \text{ t/m}^3$, a bacia do córrego Santarém teria potencial de produção de sedimentos de $881 \text{ m}^3/\text{ano}$. Esse valor de densidade foi considerado excessivo, uma vez que, em geral, o valor adotado para materiais carreados pela erosão nas encostas brasileiras é da ordem de $1,25 \text{ t/m}^3$. No entanto, em consideração à contribuição ferruginosa existente nos materiais carreados na bacia do córrego Santarém, foi utilizado um valor de densidade próximo ao máximo proposto por ANEEL (2000) para a avaliação do assoreamento de reservatórios de barragens brasileiras, ou seja, $1,50 \text{ t/m}^3$.

Nesse sentido, a Tabela 5.15 mostra que, empregando-se o valor de $1,50 \text{ t/m}^3$, a produção de sedimentos na bacia do córrego Santarém seria da ordem de $1470 \text{ m}^3/\text{ano}$, dos quais $502 \text{ m}^3/\text{ano}$ seriam provenientes do vale do Fundão. Tais valores são bem menores que aqueles estimados pelos métodos regionais descritos no item 5.2, os quais tendem a superestimar a produção de sedimentos das bacias, por não levarem em conta suas características atuais de uso e ocupação do solo.

Tabela 5.15 – Síntese da perda de solo na bacia do córrego Santarém.

Bacia Hidrográfica	Área (ha)	Erosão Natural (t/ano)	Erosão do vale de Fundão (t/ano)	Densidade ($1,5 \text{ m}^3/\text{ano}$)	Densidade ($2,5 \text{ m}^3/\text{ano}$)
Barragem do Germano	819,0	564,6	-	-	-
Dique Eixo 1	477,2	277,9	753,2	-	-
Dique S2	140,3	208,4	-	-	-
Barragem Nova Santarém	868,5	263,7	-	-	-
Dique S3	1428	36,86	-	-	-
Dique S4	924,0	98,05	-	-	-
Produção Total Sem Fundão (t/ano)		1450	Produção (m^3/ano)	966	580
Produção Vale do Fundão (t/ano)		753,2	Produção (m^3/ano)	502	301
Produção Total das Áreas (t/ano)		2203	Produção (m^3/ano)	1469	881



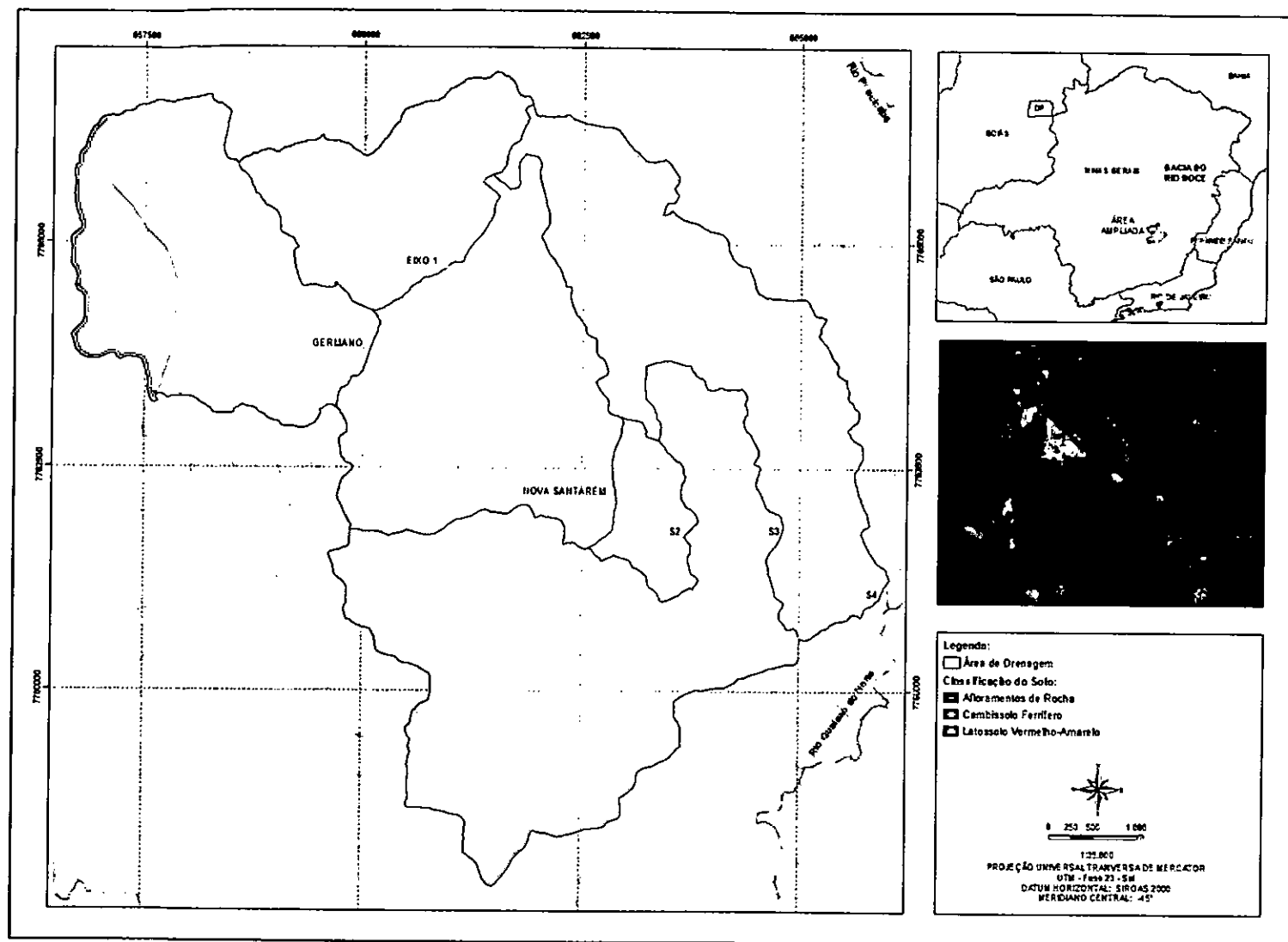
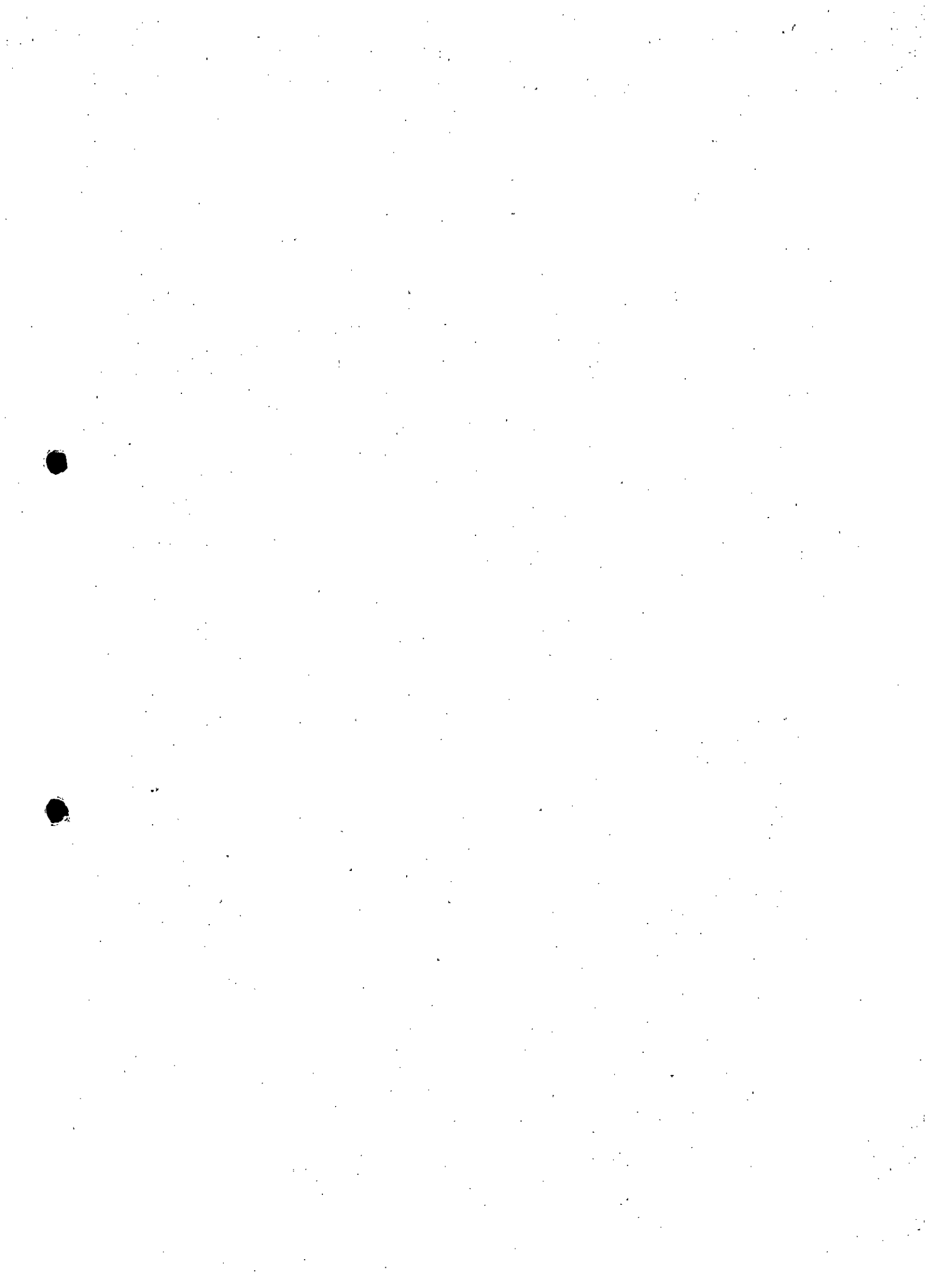


Figura 5.8 – Principais tipos de solo identificados na bacia do córrego Santarém.



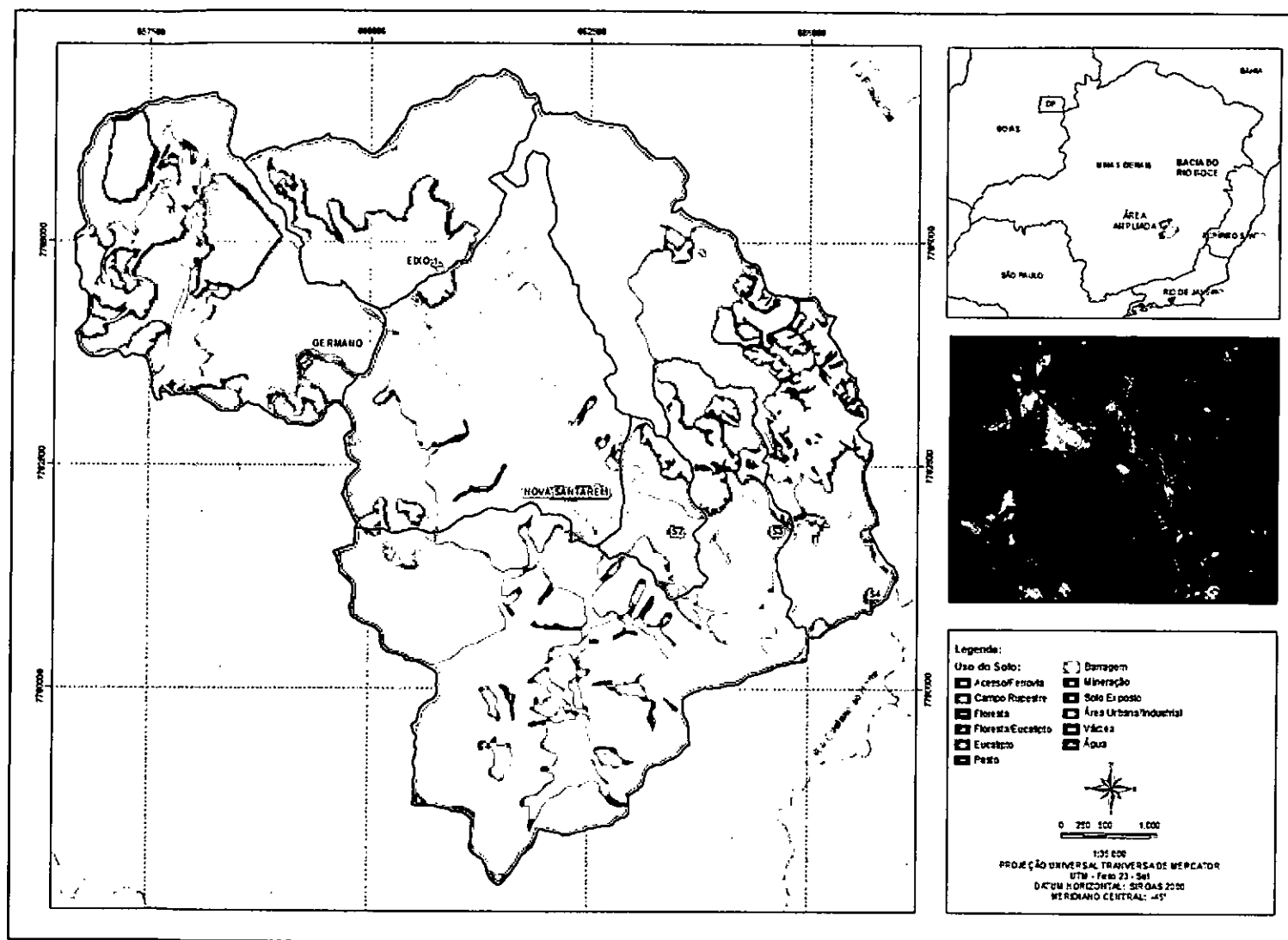
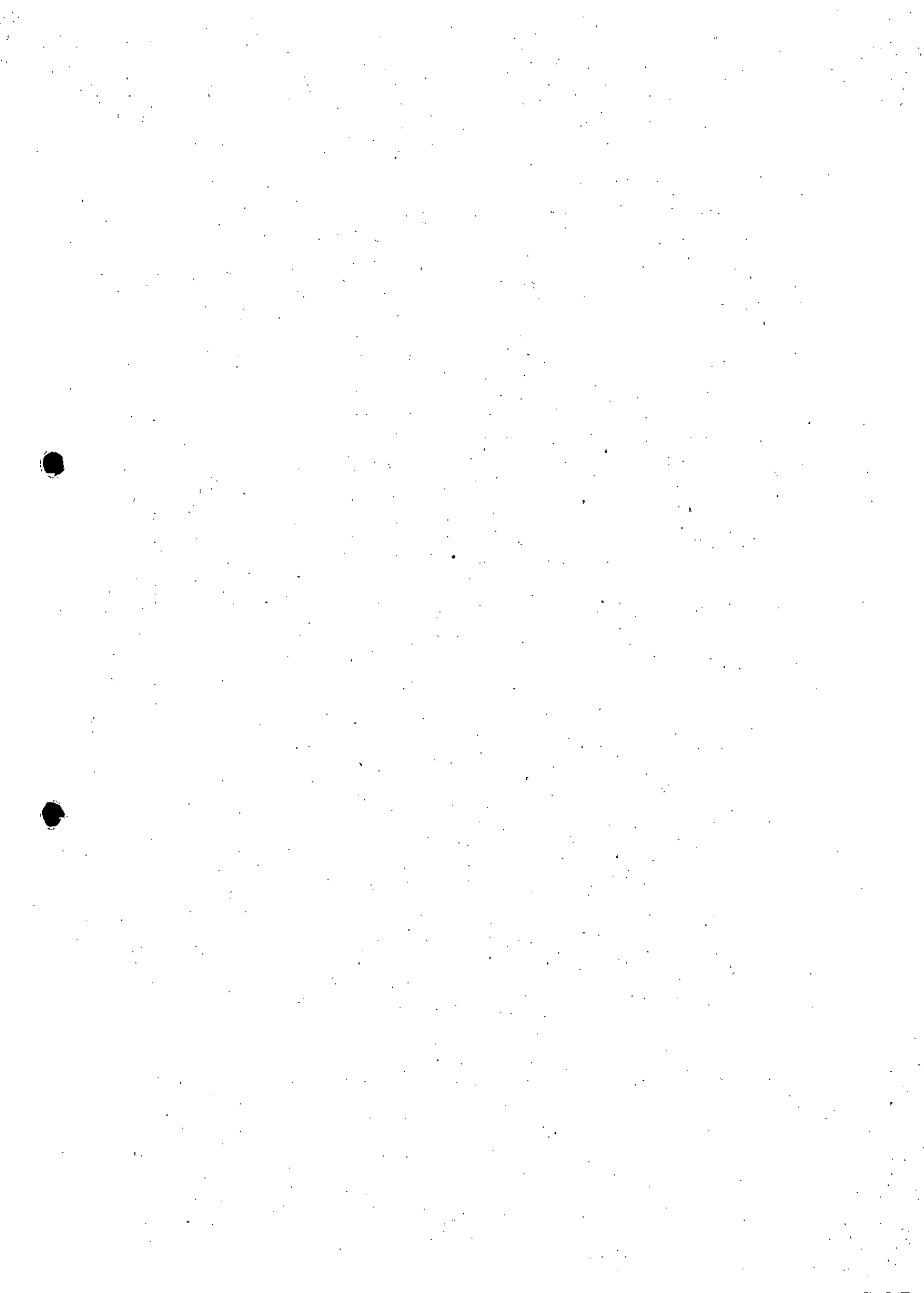


Figura 5.9 – Principais tipos de solo identificados na bacia do córrego Santarém tomando como base o ano de referência 2017.



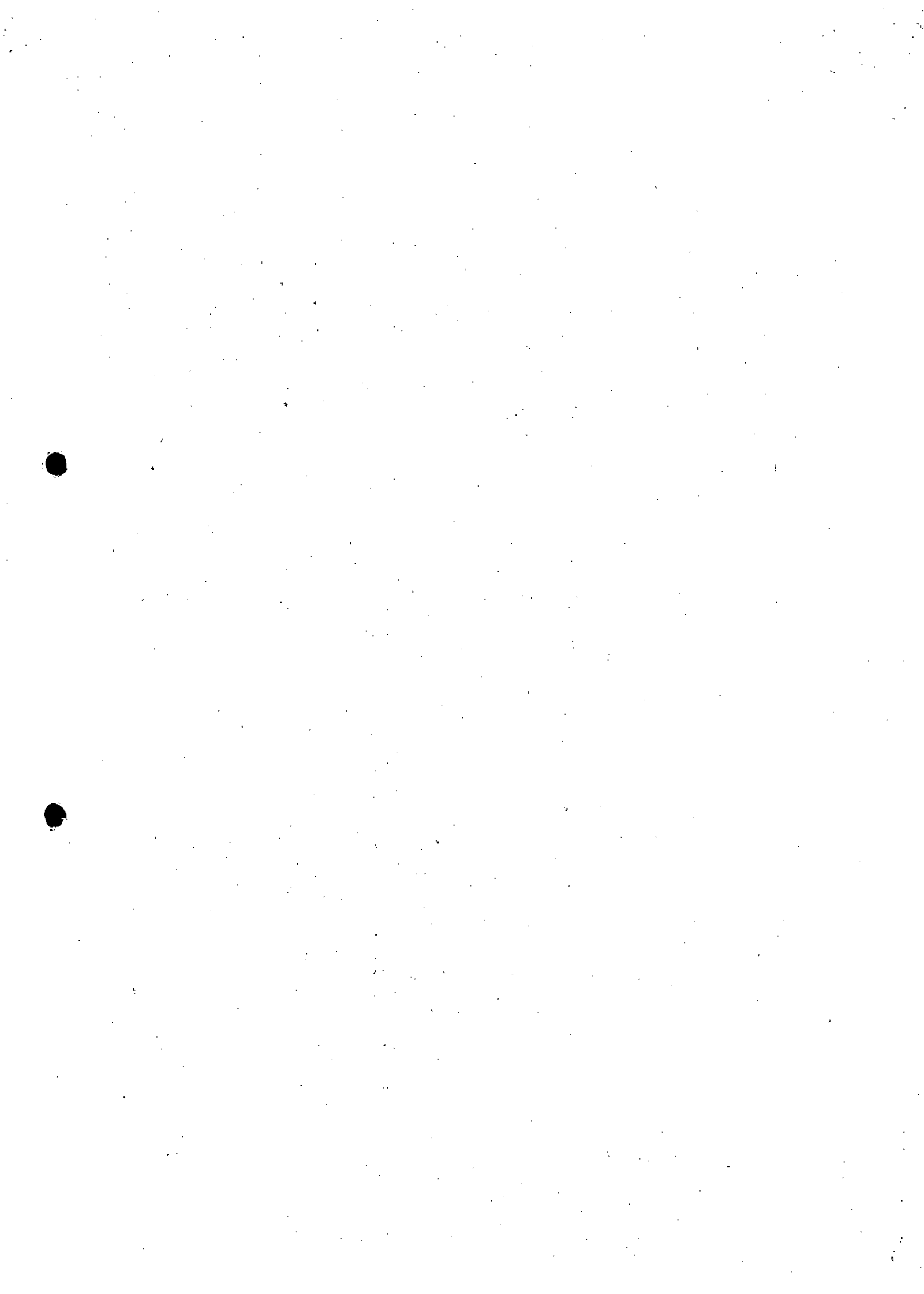


Tabela 5.16 - Detalhamento das perdas de solo na sub-bacia da Barragem do Germano.

Poligono	Tipo de Solo	Fator K	Uso do Solo	Fator CP	R.K.CP	LS Médio	P (t/ha.ano)	Área (ha)	Área (%)	P (t/ano)
1	Afloramentos de Rocha	0,009	Barragem	0,5	33,3	12,82	427	5,91	0,007	3,085
2	Afloramentos de Rocha	0,009	Pasto Várzea	0,1	6,67	12,82	85,5	3,91	0,005	0,408
3	Afloramentos de Rocha	0,009	Floresta Média Avançada	0,00004	0,003	12,82	0,034	85,00	0,104	0,004
4	Afloramentos de Rocha	0,009	Pasto Sujo	0,08	5,33	12,82	68,4	12,78	0,016	1,067
5	Afloramentos de Rocha	0,009	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	33,3	12,82	427	34,06	0,042	17,77
6	Afloramentos de Rocha	0,009	Acesso Mina	0,8	53,3	12,82	684	2,30	0,003	1,917
7	Afloramentos de Rocha	0,009	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,007	12,82	0,085	1,40	0,002	0,000
8	Afloramentos de Rocha	0,009	CRQ CRF	0,01	0,667	12,82	8,55	41,08	0,050	0,429
9	Afloramentos de Rocha	0,009	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,007	12,82	0,085	8,36	0,010	0,001
10	Afloramentos de Rocha	0,009	Estrutura Urbana	0,1	6,67	12,82	85,5	23,74	0,029	2,477
11	Cambissolo Ferrífero	0,024	Barragem	0,5	88,9	12,82	1140	288,52	0,352	401
12	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Várzea	0,1	17,8	12,82	228	28,16	0,034	7,835
13	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Média Avançada	0,00004	0,007	12,82	0,091	18,40	0,022	0,002
14	Cambissolo Ferrífero	0,024	Fundão	1	177,8	12,82	2279	1,47	0,002	4,091
15	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Sujo	0,08	14,2	12,82	182	13,03	0,016	2,900
16	Cambissolo Ferrífero	0,024	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	88,9	12,82	1140	30,38	0,037	42,27
17	Cambissolo Ferrífero	0,024	Acesso Mina	0,8	142,3	12,82	1823	30,85	0,038	68,67
18	Cambissolo Ferrífero	0,024	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,018	12,82	0,228	56,44	0,069	0,016
19	Cambissolo Ferrífero	0,024	Agua Cava	0	0	12,82	0,000	13,10	0,016	0,000
20	Cambissolo Ferrífero	0,024	CRQ CRF	0,01	1,78	12,82	22,8	16,49	0,020	0,459
21	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,018	12,82	0,228	68,70	0,084	0,019
22	Cambissolo Ferrífero	0,024	Urb Estrutura	0,1	17,8	12,82	228	34,97	0,043	9,731
Produção Total de Sedimentos (P)								819,02	1	565

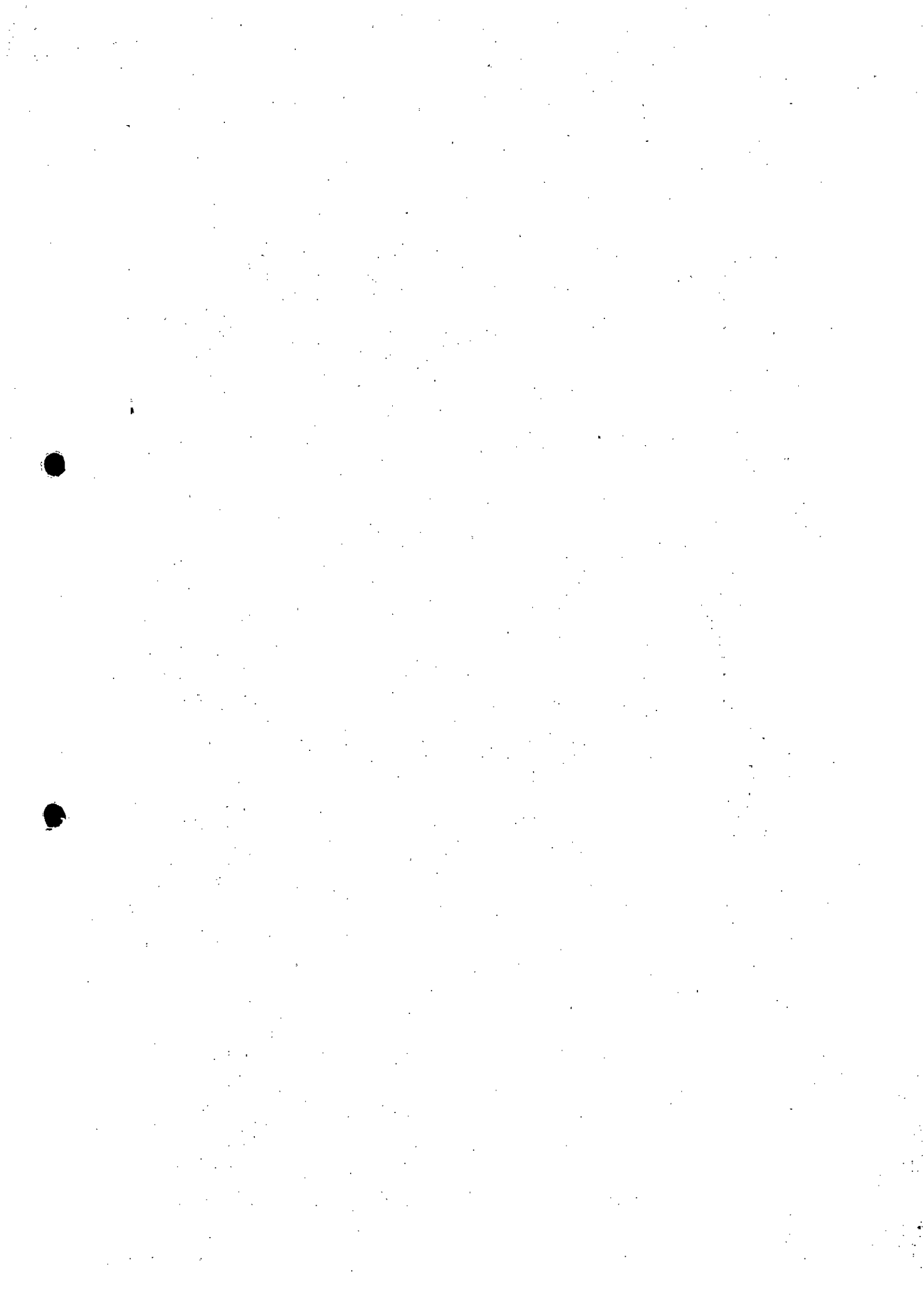


Tabela 5.17 - Detalhamento das perdas de solo na sub-bacia do Dique Eixo I (vale do Fundão).

Polígono	Tipo de Solo	Fator K	Uso do Solo	Fator CP	R.K.CP	LS Médio	P (t/ha.ano)	Área (ha)	Área (%)	P (t/ano)
1	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Várzea	0,1	17,6	13,53	238	53,74	0,113	26,848
2	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Média Avançada	0,00004	0,007	13,53	0,095	10,53	0,022	0,002
3	Cambissolo Ferrífero	0,024	Fundão	1	176,2	13,53	2384	150,76	0,316	753
4	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Sujo	0,08	14,1	13,53	191	48,41	0,101	19,35
5	Cambissolo Ferrífero	0,024	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	88,1	13,53	1192	1,74	0,004	4,345
6	Cambissolo Ferrífero	0,024	Acesso Mina	0,8	140,9	13,53	1907	56,85	0,119	227
7	Cambissolo Ferrífero	0,024	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,018	13,53	0,238	11,02	0,023	0,006
8	Cambissolo Ferrífero	0,024	Água Cava	0	0,000	13,53	0	2,42	0,005	0
9	Cambissolo Ferrífero	0,024	CRQ CRF	0,01	1,76184	13,53	23,8	1,45	0,003	0,072
10	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,018	13,53	0,238	140,23	0,294	0,070
Produção Total de Sedimentos (P)								477,2	1	1031

Tabela 5.18 - Detalhamento das perdas de solo na sub-bacia incremental da Barragem Nova Santarém.

Polígono	Tipo de Solo	Fator K	Uso do Solo	Fator CP	R.K.CP	LS Médio	P (t/ha.ano)	Área (ha)	Área (%)	P (t/ano)
1	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Várzea	0,1	17,7	13,08	231	67,17	0,077	17,892
2	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Média Avançada	0,00004	0,007	13,08	0,093	82,90	0,095	0,009
3	Cambissolo Ferrífero	0,024	Fundão	1	176,9	13,08	2314	11,38	0,013	30,31
4	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Sujo	0,08	14,2	13,08	185	27,04	0,031	5,762
5	Cambissolo Ferrífero	0,024	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	88,44	13,08	1157	81,96	0,094	109
6	Cambissolo Ferrífero	0,024	Acesso Mina	0,8	141,5	13,08	1851	46,17	0,053	98,39
7	Cambissolo Ferrífero	0,024	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,018	13,08	0,231	89,07	0,103	0,024
8	Cambissolo Ferrífero	0,024	Água Cava	0	0	13,08	0	20,88	0,024	0
9	Cambissolo Ferrífero	0,024	CRQ CRF	0,01	1,77	13,08	23,1	9,34	0,011	0,249
10	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,018	13,08	0,231	349,63	0,403	0,093
11	Cambissolo Ferrífero	0,024	Estrutura Urbana	0,1	17,7	13,08	231	6,65	0,008	1,772
12	Cambissolo Ferrífero	0,024	Acumulação	0	0	13,08	0	76,36	0,088	0
Produção Total de Sedimentos (P)								868,54	1	264

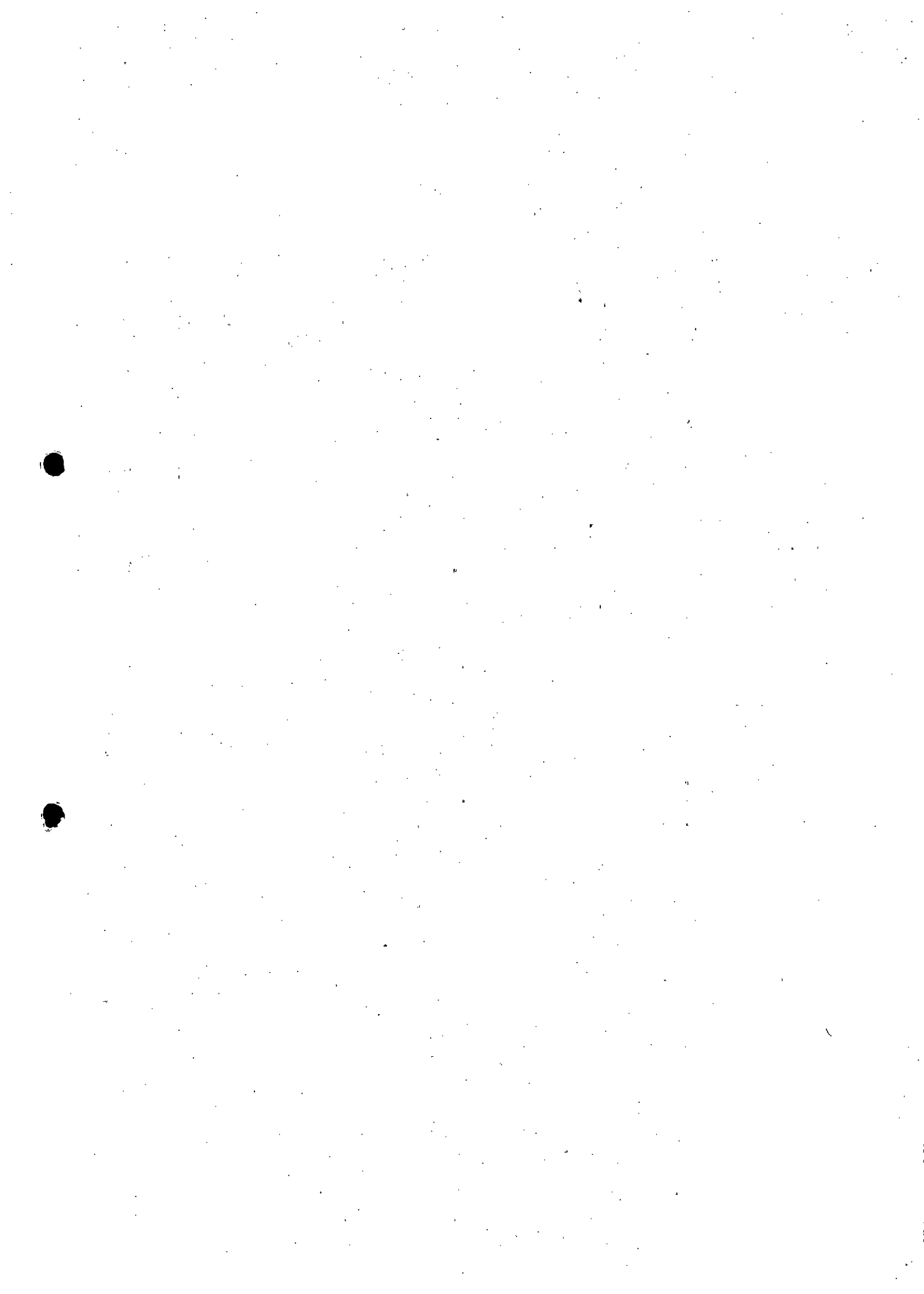


Tabela 5.19 - Detalhamento das perdas de solo na sub-bacia incremental do Dique S2.

Polígono	Tipo de Solo	Fator K	Uso do Solo	Fator CP	R.K.CP	LS Médio	P (t/ha.ano)	Área (ha)	Área (%)	P (t/ano)
0	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Várzea	0,1	17,6	11,41	201	1,16	0,008	1,665
1	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Média Avançada	0,00004	0,007	11,41	0,080	44,44	0,317	0,025
2	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Sujo	0,08	14,1	11,41	161	3,00	0,021	3,444
3	Cambissolo Ferrífero	0,024	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	88,1	11,41	1005	17,10	0,122	122
4	Cambissolo Ferrífero	0,024	Acesso Mina	0,8	140,9	11,41	1608	2,44	0,017	27,97
5	Cambissolo Ferrífero	0,024	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,018	11,41	0,201	9,93	0,071	0,014
6	Cambissolo Ferrífero	0,024	Água Cava	0	0	11,41	0	0,12	0,001	0
7	Cambissolo Ferrífero	0,024	CRQ CRF	0,01	1,76	11,41	20,1	4,92	0,035	0,705
8	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,018	11,41	0,201	14,45	0,103	0,021
9	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	Pasto Várzea	0,1	14,7	11,41	167	1,41	0,010	1,682
10	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	Floresta Média Avançada	0,00004	0,006	11,41	0,067	9,49	0,068	0,005
11	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	Pasto Sujo	0,08	11,7	11,41	134	5,40	0,039	5,160
12	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	73,4	11,41	837	5,63	0,040	33,62
13	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	Acesso Mina	0,8	117,4	11,41	1340	1,12	0,008	10,66
14	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,015	11,41	0,167	10,10	0,072	0,012
15	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	Água Cava	0	0	11,41	0	0,60	0,004	0
16	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	CRQ CRF	0,01	1,47	11,41	16,7	8,15	0,058	0,974
17	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,02	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,015	11,41	0,167	0,78	0,006	0,001
Produção Total de Sedimentos (P)								140,25	1	208

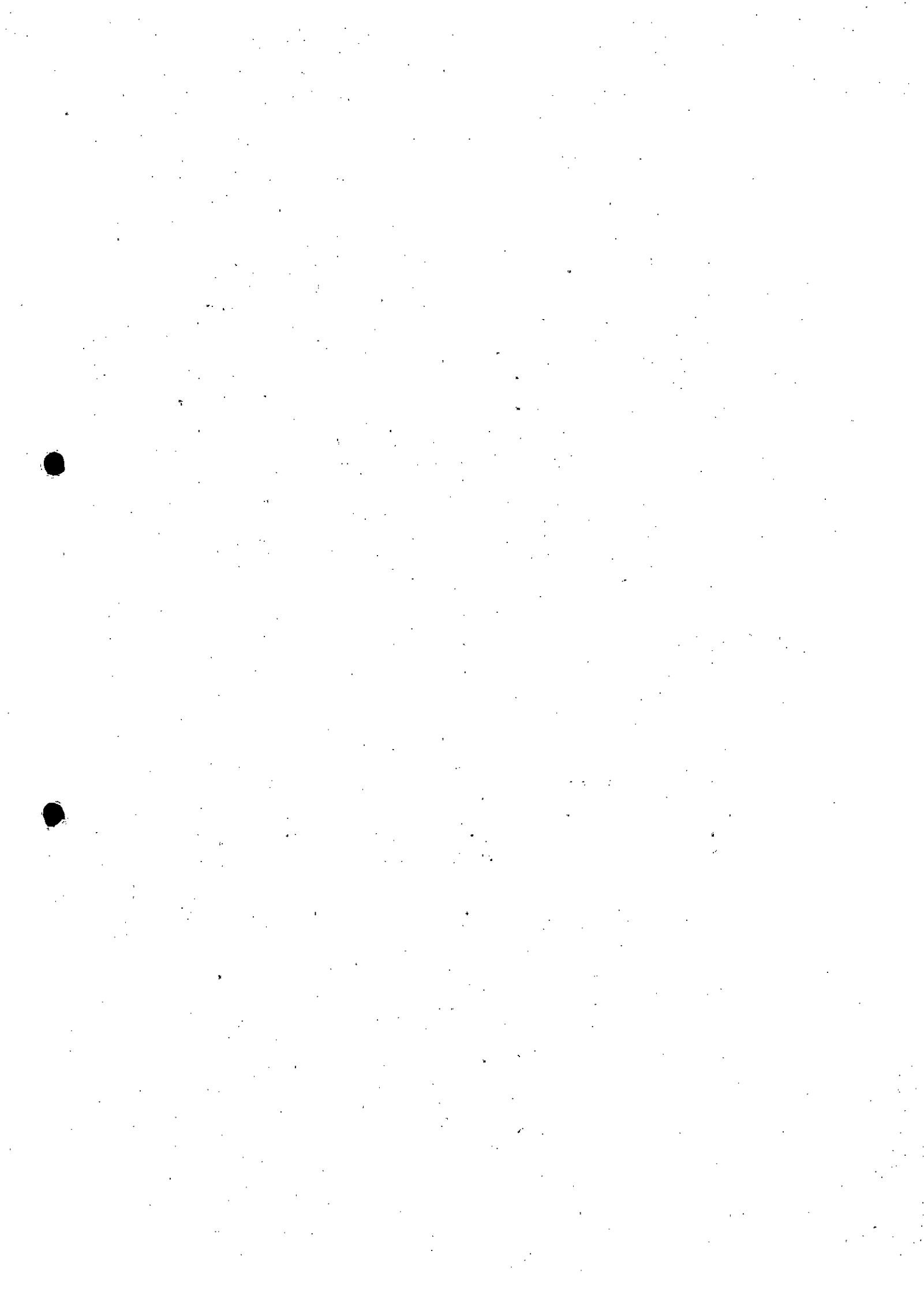


Tabela 5.20 - Detalhamento das perdas de solo na sub-bacia incremental do Dique S3.

Polígono	Tipo de Solo	Fator K	Uso do Solo	Fator CP	R.K.CP	LS Médio	P (t/ha.ano)	Área (ha)	Área (%)	P (t/ano)
1	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Várzea	0,1	17,7	11,83	209	3,35	0,002	0,491
2	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Média Avançada	0,00004	0,007	11,83	0,084	299,42	0,210	0,018
3	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Sujo	0,08	14,2	11,83	168	18,13	0,013	2,127
4	Cambissolo Ferrífero	0,024	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	88,5	11,83	1047	3,02	0,002	2,211
5	Cambissolo Ferrífero	0,024	Acesso Mina	0,8	141,6	11,83	1676	4,44	0,003	5,210
6	Cambissolo Ferrífero	0,024	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,018	11,83	0,209	93,27	0,065	0,014
7	Cambissolo Ferrífero	0,024	CRQ CRF	0,01	1,77	11,83	20,9	3,93	0,003	0,058
8	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,018	11,83	0,209	591,92	0,414	0,087
9	Cambissolo Ferrífero	0,024	Estrutura Urbana	0,1	17,7	11,83	209	0,20	0,000	0,029
10	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Pasto Várzea	0,1	14,8	11,83	175	21,63	0,015	2,643
11	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Floresta Média Avançada	0,00004	0,006	11,83	0,070	71,75	0,050	0,004
12	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Pasto Sujo	0,08	11,8	11,83	140	31,73	0,022	3,102
13	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	73,76	11,83	873	23,33	0,016	14,25
14	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Acesso Mina	0,8	118,0	11,83	1396	5,97	0,004	5,837
15	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,015	11,83	0,175	78,71	0,055	0,010
16	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Água Cava	0	0	11,83	0	5,93	0,004	0
17	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	CRQ CRF	0,01	1,48	11,83	17,5	61,77	0,043	0,755
18	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,015	11,83	0,175	60,15	0,042	0,007
19	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Acumulação	0	0	11,83	0	49,82	0,035	0,000
Produção Total de Sedimentos (P)								1428,49	1	36,86

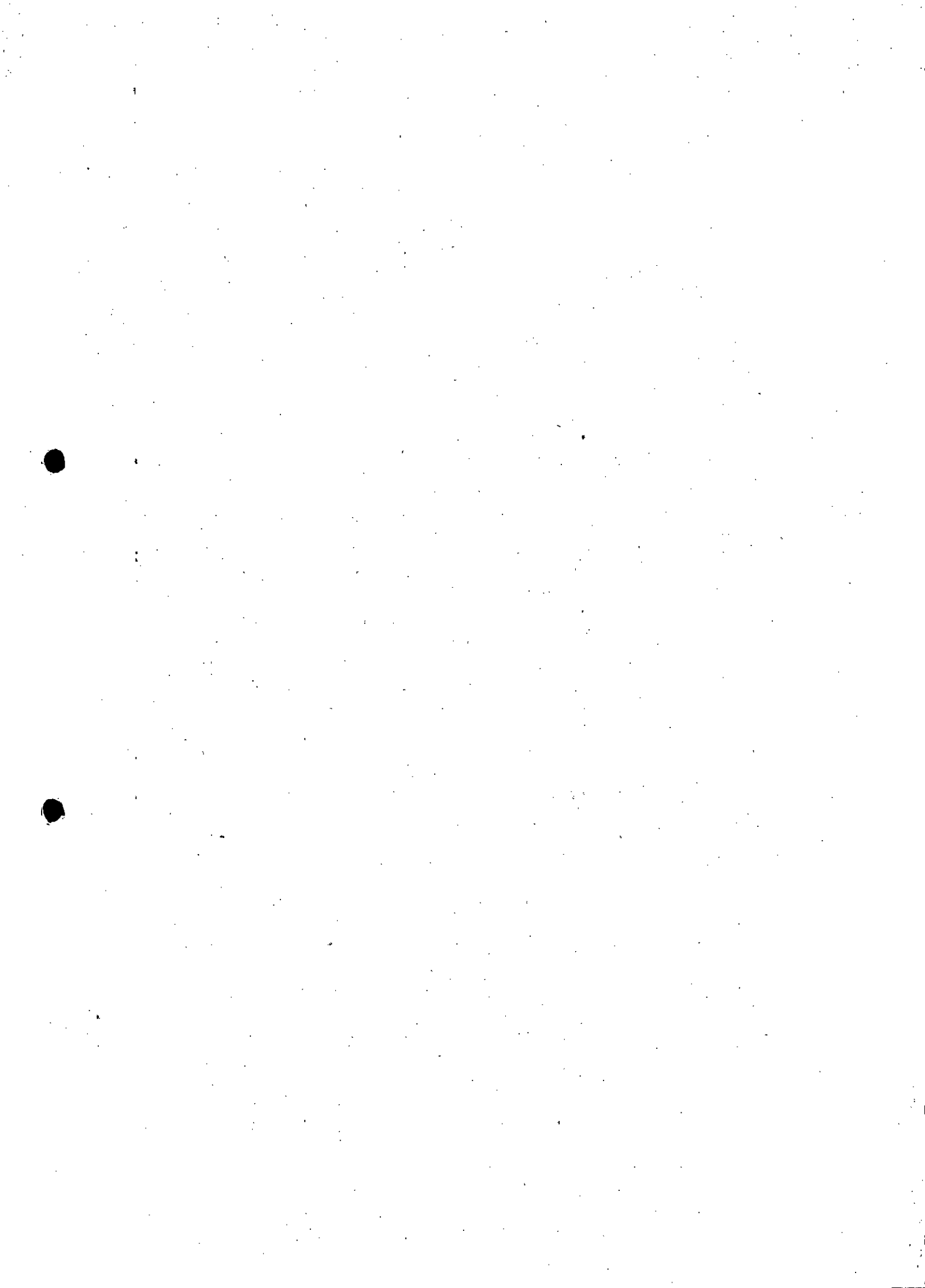
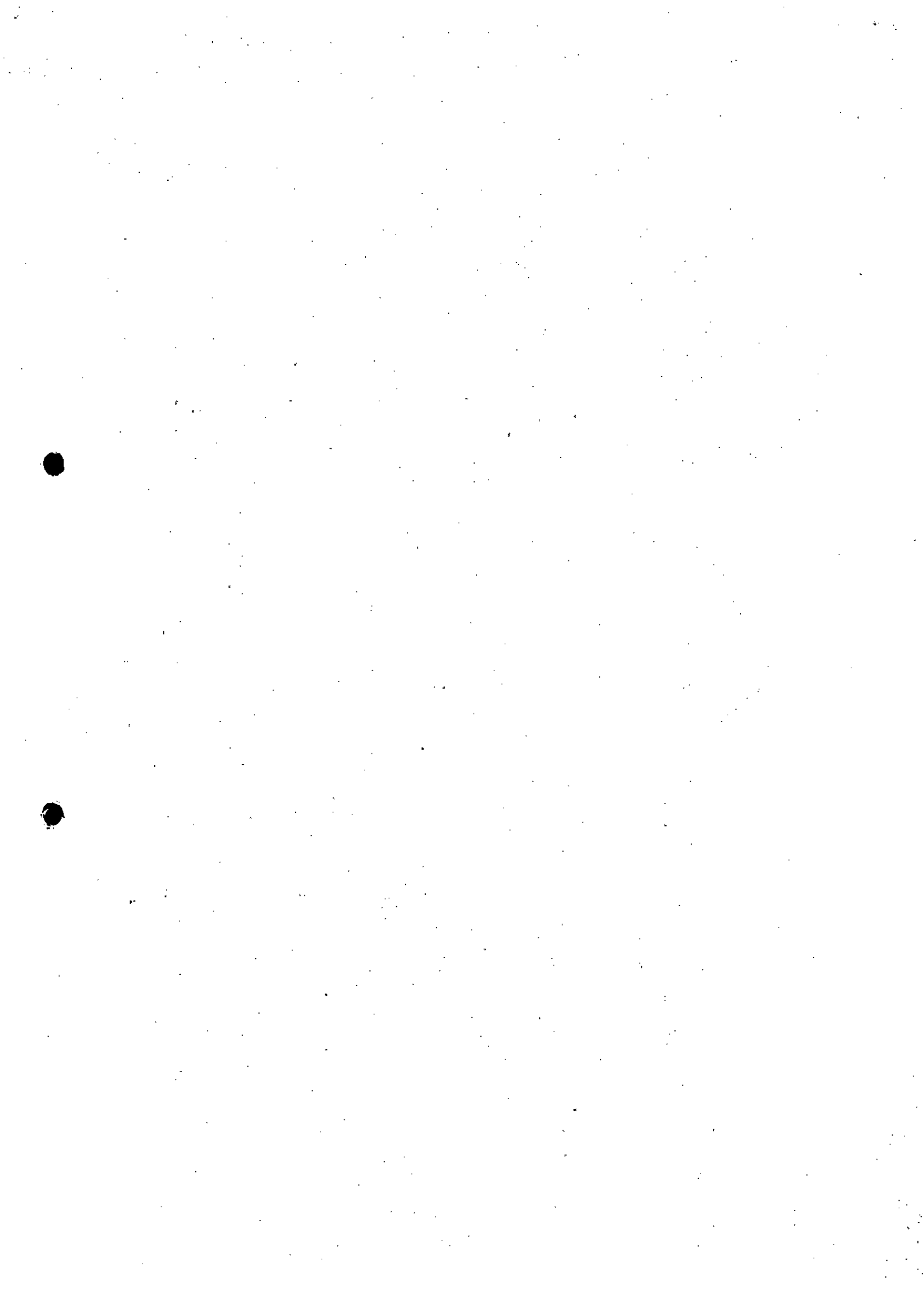


Tabela 5.21 - Detalhamento das perdas de solo na sub-bacia incremental do Dique S4.

Polígono	Tipo de Solo	Fator K	Uso do Solo	Fator CP	R.K.CP	LS Médio	P (t/ha.ano)	Área (ha)	Área (%)	P (t/ano)
1	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Várzea	0,1	17,7	10,63	188	19,99	0,022	4,062
2	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Média Avançada	0,00004	0,007	10,63	0,075	15,95	0,017	0,001
3	Cambissolo Ferrífero	0,024	Pasto Sujo	0,08	14,1	10,63	150	0,02	0,000	0,003
4	Cambissolo Ferrífero	0,024	Acesso Mina	0,8	141,4	10,63	1502	24,12	0,026	39,22
5	Cambissolo Ferrífero	0,024	Agua Cava	0	0	10,63	0	248,11	0,269	0
6	Cambissolo Ferrífero	0,024	CRQ CRF	0,01	1,77	10,63	18,8	3,12	0,003	0,063
7	Cambissolo Ferrífero	0,024	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,018	10,63	0,188	0,54	0,001	0,000
8	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Pasto Várzea	0,1	14,7	10,63	157	15,83	0,017	2,681
9	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Floresta Média Avançada	0,00004	0,006	10,63	0,063	218,68	0,237	0,015
10	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Pasto Sujo	0,08	11,8	10,63	125	40,44	0,044	5,480
11	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Rej/Sedimento Solo Exposto	0,5	73,64	10,63	782	36,53	0,040	30,93
12	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Acesso Mina	0,8	117,8	10,63	1252	9,29	0,010	12,59
13	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Candeia Eucalipto FESI	0,0001	0,015	10,63	0,157	74,48	0,081	0,013
14	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Agua Cava	0	0	10,63	0	35,74	0,039	0
15	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	CRQ CRF	0,01	1,47	10,63	15,7	163,99	0,177	2,778
16	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Floresta Inicial e Eucalipto	0,0001	0,015	10,63	0,157	0,56	0,001	0,000
17	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Estrutura Urbana	0,1	14,7	10,63	157	1,32	0,001	0,223
18	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,020	Acumulação	0	0	10,63	0	15,30	0,017	0
Produção Total de Sedimentos (P)								924,0	1	98,05



6.0 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE CONTENÇÃO DAS ESTRUTURAS

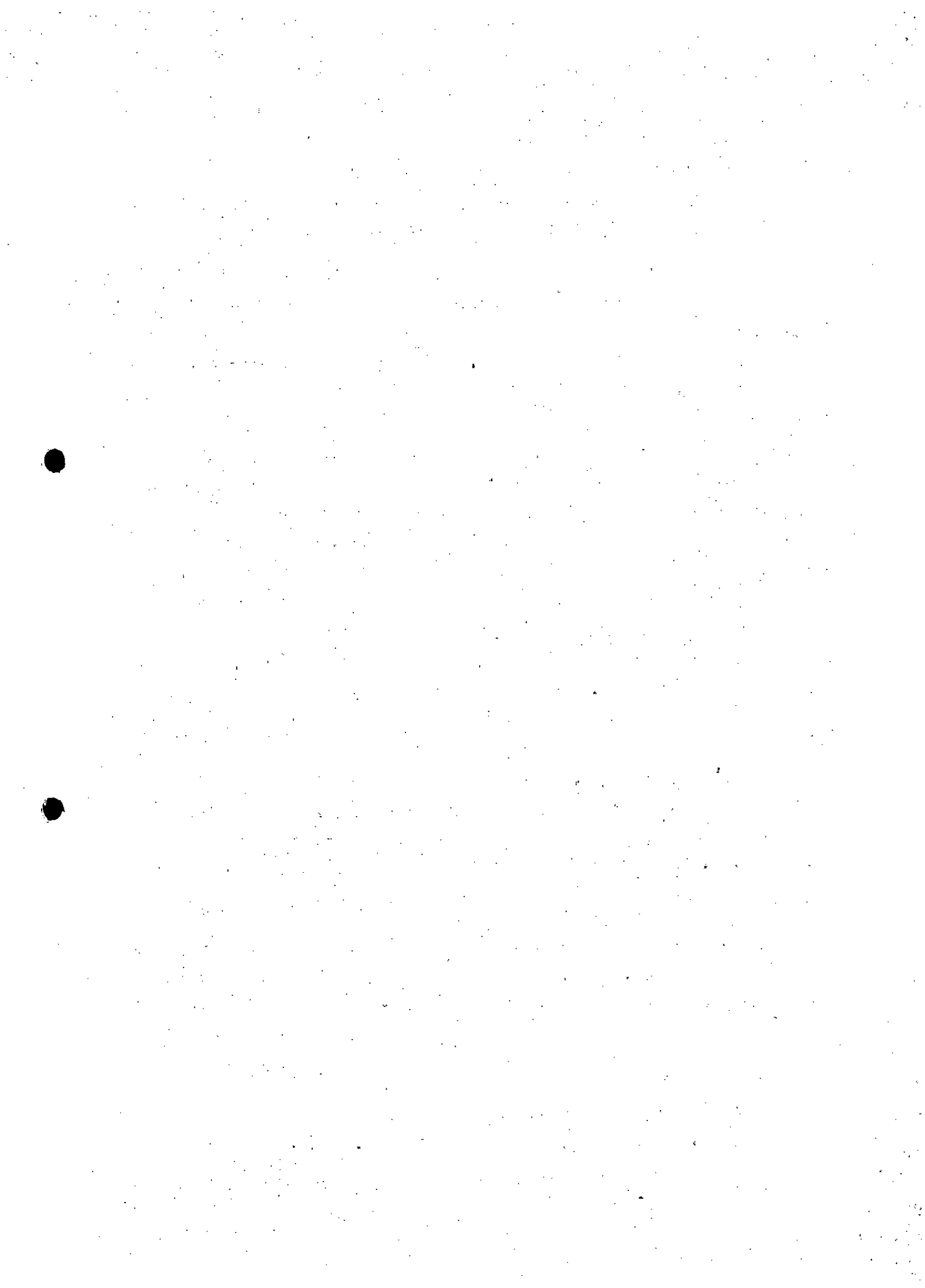
Diante do conceito de VAZAMENTO descrito no Capítulo 3, ou seja, *movimentação e carreamento do volume remanescente de rejeitos/lama do rompimento da Barragem do Fundão, para fora dos limites de propriedade da SAMARCO, alcançando a calha do rio Gualaxo do Norte e podendo escoar para o restante dos cursos de água da bacia do rio Doce*, foram estabelecidos dois critérios de análise para avaliação da eficiência das medidas de contenção implantadas pela referida empresa desde a data de ocorrência do citado evento.

Conforme citado no item 4.1 do Capítulo 4, para conter o “vazamento” de rejeitos/lama, a SAMARCO implantou uma série de estruturas de contenção do material que ainda escoava pela calha do córrego do Fundão e do córrego Santarém, em direção ao rio Gualaxo do Norte. Algumas dessas estruturas tiveram caráter auxiliar, uma vez que foram implantadas apenas para permitir o avanço das obras das estruturas de maior porte (Dique Eixo 1, Barragem Nova Santarém e Dique S3), destinadas, de fato, à contenção do material defluente do vale do Fundão.

As barreiras hidráulicas implantadas no vale do Fundão e os Diques S1 e S2 constituem as estruturas auxiliares citadas, sendo que algumas delas já cumpriram seu papel de retenção, total ou parcialmente. O Dique S4, por sua vez e como já relatado outras vezes, não foi implantado primariamente no intuito de conter o material proveniente de Fundão, mas apenas para impedir que o material depositado na área compreendida entre o Dique S3 e a foz do córrego Santarém, ou seja, especificamente na região do povoado de Bento Rodrigues, seja mobilizado e transportado para o rio Gualaxo do Norte, promovendo assoreamento do mesmo e alteração de seus parâmetros de qualidade. No entanto, diante das condições impostas pelo sistema de estruturas, tal dique pode vir a cumprir complementarmente tal função.

Diante desse quadro de estruturas implantadas, foi estabelecido o eixo do Dique S3 como seção de controle para efeito de avaliação da ocorrência ou não de vazamento de rejeitos/lama provenientes do vale do Fundão (ver Capítulo 2). Para avaliar a eficiência das medidas implantadas pela SAMARCO, foram selecionadas duas vertentes ou elementos:

- Cômputo dos sedimentos retidos: cálculo do volume total de sedimentos remanescentes após o rompimento da Barragem do Fundão e estimativa da parcela retida nas estruturas implantadas com a finalidade auxiliar ou principal de contê-los. A Figura 6.1 apresenta as características dos rejeitos/lama presentes no vale do Fundão e mapeadas, em determinada área do mesmo, em dezembro de 2015. Os dados obtidos indicam que o material presente tem granulometria



bastante fina (cerca de 2% areia grossa e média, 60% de areia fina e muito fina e 38% de silte/argila). Esses dados são apresentados apenas como título de informação, dada a possível variabilidade espacial da disposição do material ainda depositado ao longo do vale.

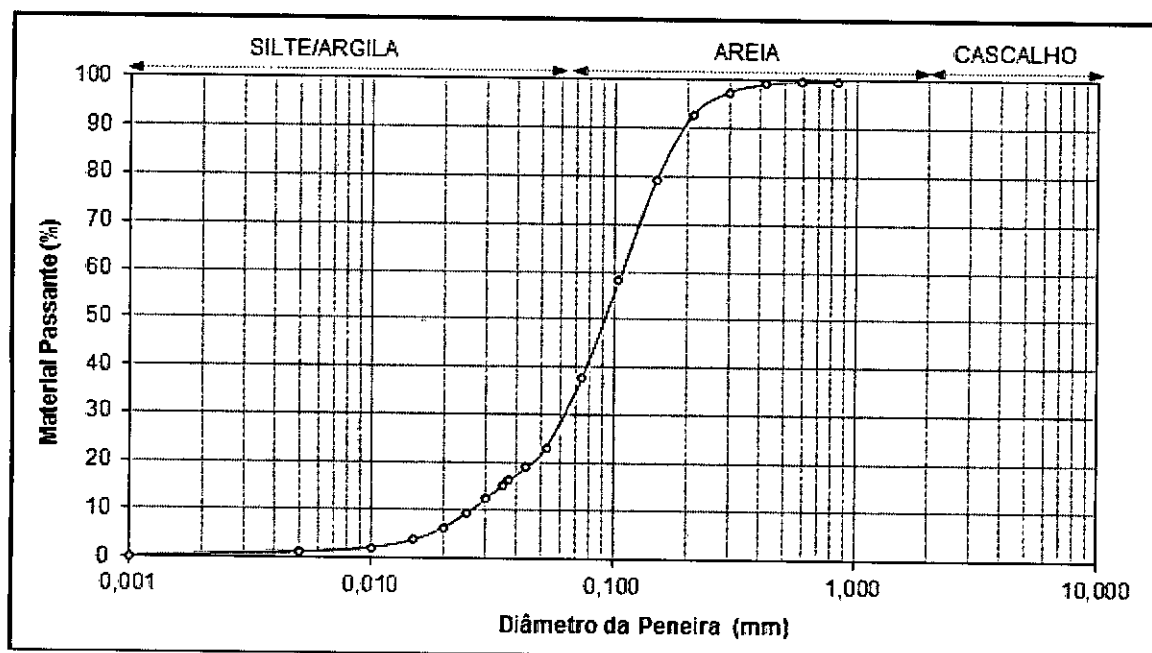


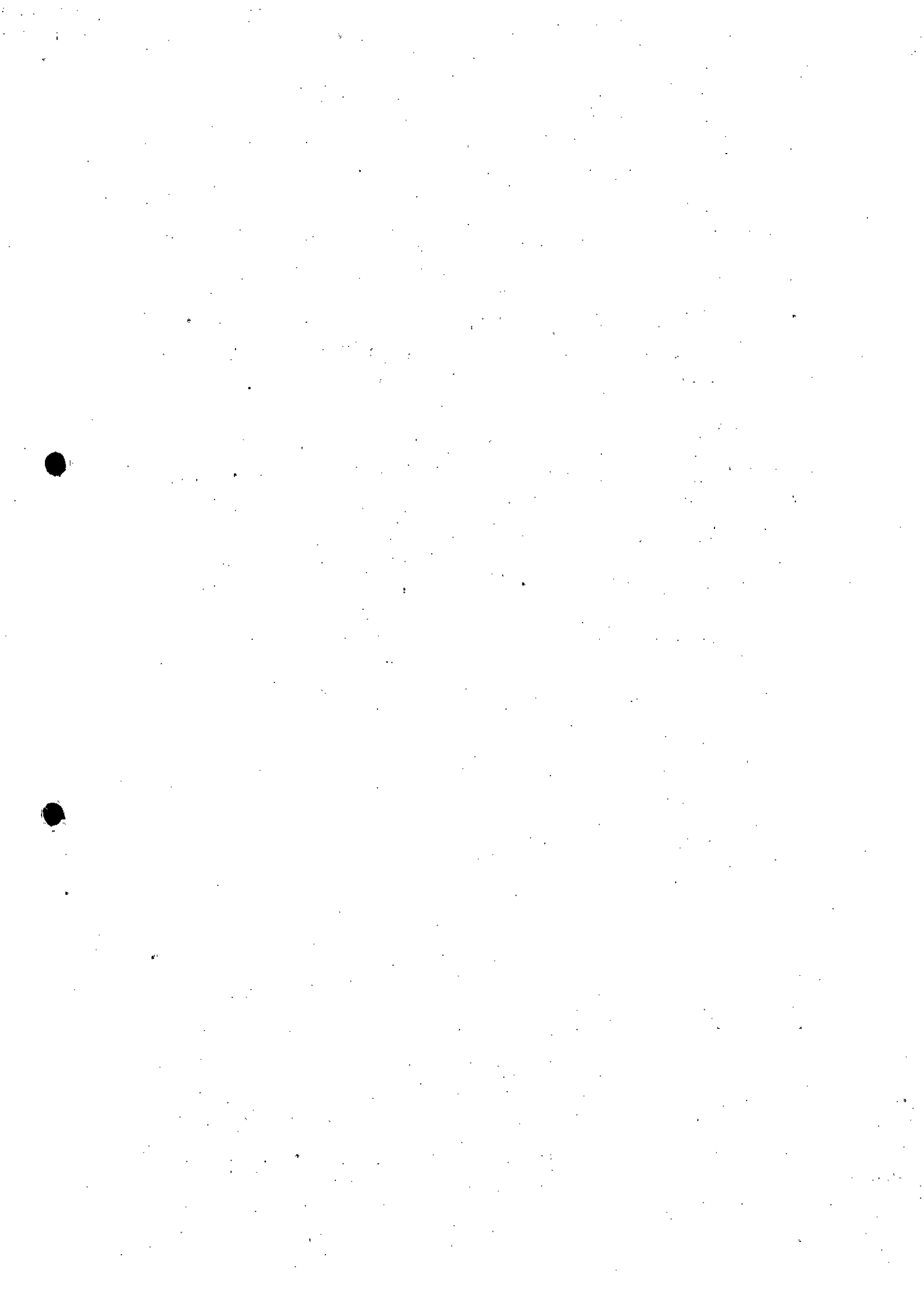
Figura 6.1 - Curva granulométrica dos rejeitos contidos no vale do Fundão, amostrados em 24/12/2015.

- Avaliação de variáveis sedimentológicas e de parâmetros de qualidade das águas: análise principal da evolução temporal dos parâmetros de turbidez e sólidos em suspensão, a montante e jusante da seção de controle, bem como de outras seções situadas fora da área influenciada pela onda de ruptura da Barragem de Fundão, servindo, portanto, como referência para avaliação dos resultados de eficiência das estruturas implantadas pela SAMARCO no vale dos córregos do Fundão e Santarém.

Em virtude da disponibilidade de dados, o cômputo dos volumes armazenados nas estruturas de contenção foi realizado até a data de 31/12/2016 e a avaliação das variáveis sedimentológicas e dos parâmetros de qualidade das águas se estendeu até do dia 27/01/2017.

6.1 VOLUMES RETIDOS

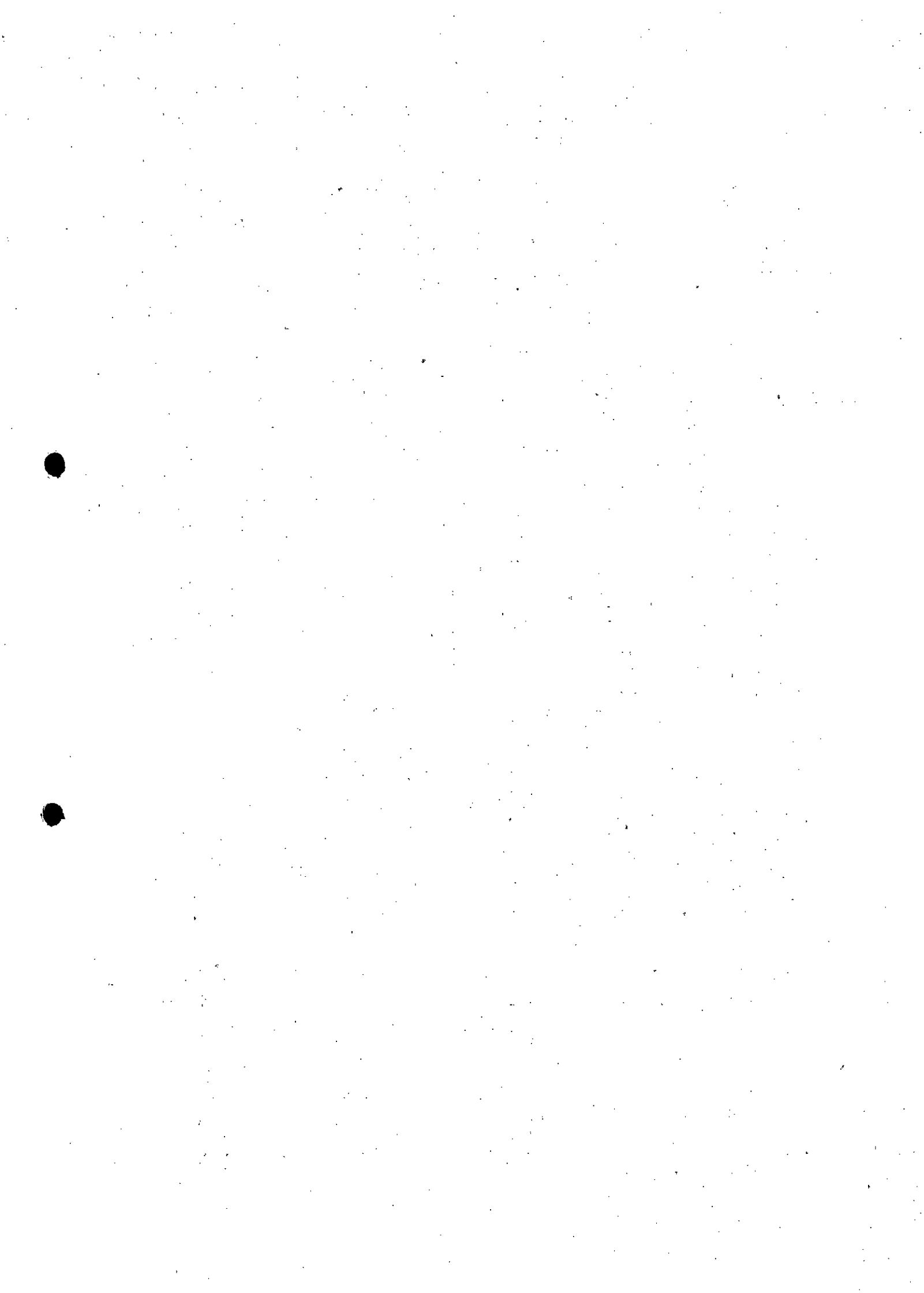
Conforme citado no Capítulo 5, a SAMARCO vem realizando uma série de levantamentos topográficos contínuos da área diretamente afetada pela onda de ruptura da Barragem do Fundão. Tais levantamentos são realizados e analisados pela empresa HGT Engenharia, conforme citado no Capítulo 4, tomando por base a seção de referência correspondente ao eixo do Dique S3.



Todo o material disponibilizado no período compreendido entre a data de 27/10/2015 (antes do evento de ruptura) e o dia 25/12/2016 (último levantamento disponibilizado) foi analisado e com base nele computados os volumes de material movimentado ao longo da área de interesse. A Tabela 6.1 e as Figuras 6.2 a 6.7 mostram os resultados obtidos. Em tais gráficos são incluídos os registros de precipitação da estação pluviométrica WH05 operada pela SAMARCO e as datas a partir das quais as estruturas implantadas passaram a operar com potencial de retenção de material afluente.

Tabela 6.1 – Cômputo dos volumes movimentados entre o vale do Fundão e eixo do Dique S3.

Data do Levantamento e/ou Cômputo do Volume	Volume (Mm ³)				
	Vale do Fundão	Barragem Nova Santarém	Dique S2	Dique S3	Trecho Total
27/10/15 - ANTES RUPTURA	56,41	7,81	0,000	0,000	64,23
06/11/15 - DEPOIS RUPTURA	24,25	10,06	0,000	0,000	34,31
05/02/16	13,15	9,72	0,230	0,480	23,58
12/02/16	13,14	9,75	0,240	0,480	23,61
16/02/16	13,13	9,80	0,245	0,480	23,66
23/02/16	13,13	9,81	0,270	0,960	24,17
02/03/16	12,90	9,80	0,230	1,010	23,94
10/03/16	12,88	9,80	0,227	1,010	23,92
17/03/16	12,86	9,80	0,239	1,030	23,92
23/03/16	12,85	9,79	0,237	0,898	23,78
31/03/16	12,82	9,79	0,235	1,035	23,88
07/04/16	12,79	9,79	0,237	1,257	24,07
14/04/16	12,80	9,80	0,237	1,251	24,08
22/04/16	12,80	9,80	0,237	1,251	24,09
28/04/16	12,81	9,80	0,237	1,251	24,10
06/05/16	12,80	9,81	0,237	1,256	24,09
12/05/16	12,80	9,81	0,239	1,282	24,13
20/05/16	12,79	9,81	0,240	1,281	24,12
27/05/16	12,79	9,81	0,239	1,213	24,05
03/06/16	12,79	9,81	0,239	1,284	24,12
09/06/16	12,79	9,81	0,238	1,282	24,12
17/06/16	12,75	9,81	0,238	1,263	24,06
01/07/16	12,74	9,81	0,238	1,263	24,06
01/08/16	12,75	9,90	0,238	1,264	24,16
01/09/16	12,58	10,00	0,238	0,988	23,80
01/10/16	12,65	10,09	0,238	0,884	23,87
25/10/16	12,76	10,36	0,238	0,782	24,15
29/11/16	12,87	10,54	0,238	1,068	24,72
28/12/16 - ATUAL	12,96	10,74	0,238	1,433	25,37
Volume Mobilizado pela Ruptura	32,16	-2,24	0,00	0,00	29,92
Volume Mobilizado após Ruptura	11,29	-0,68	-0,24	-1,43	8,94
Volume Movimentado no Período	43,45	-2,92	-0,24	-1,43	38,86



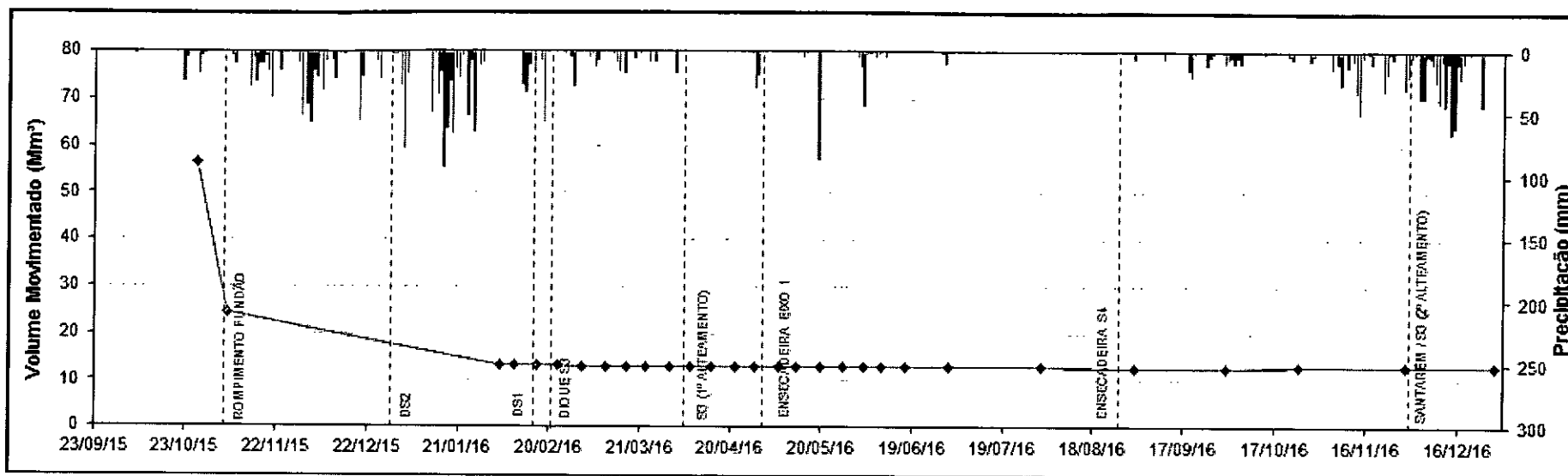


Figura 6.2 – Variação do volume contido no vale do Fundão entre 27/10/2015 e 28/12/2016.

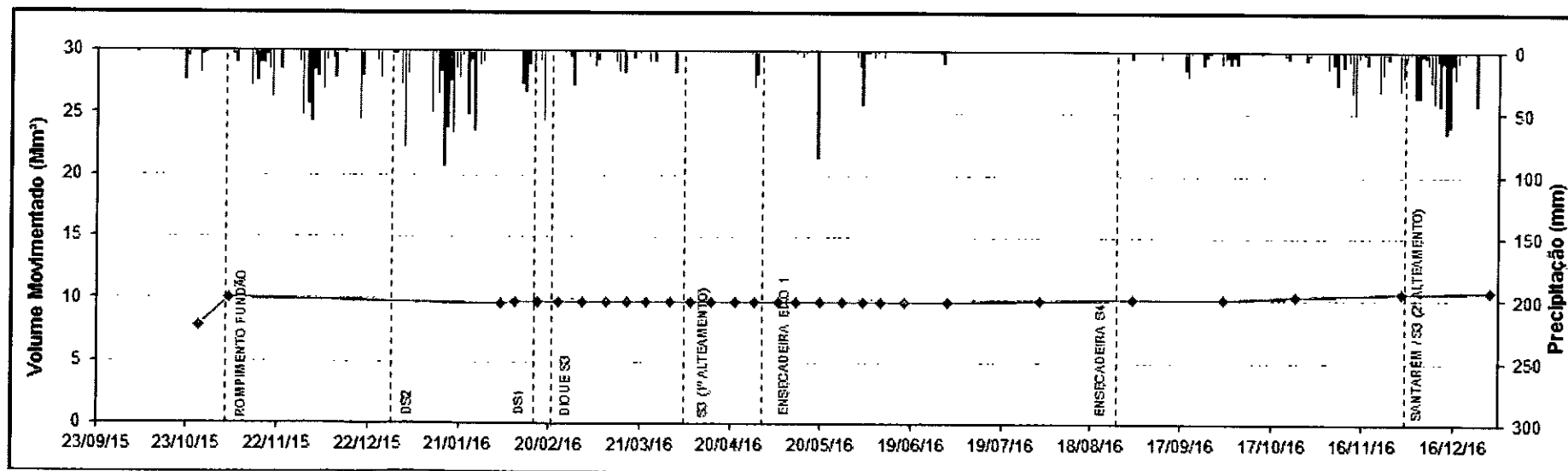
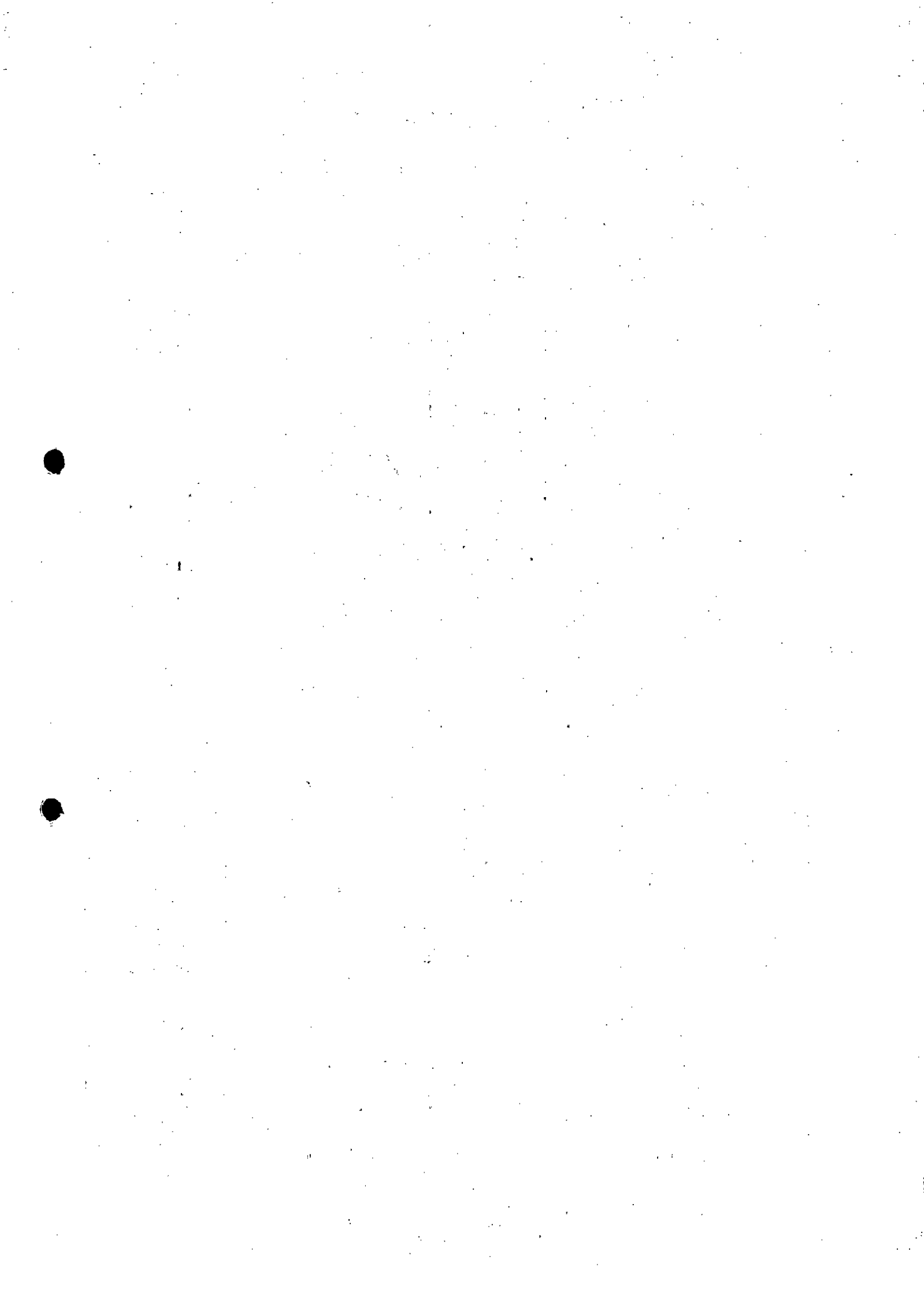


Figura 6.3 – Variação do volume contido entre o vale do Fundão e a Barragem Nova Santarém no período de 27/10/2015 a 28/12/2016.



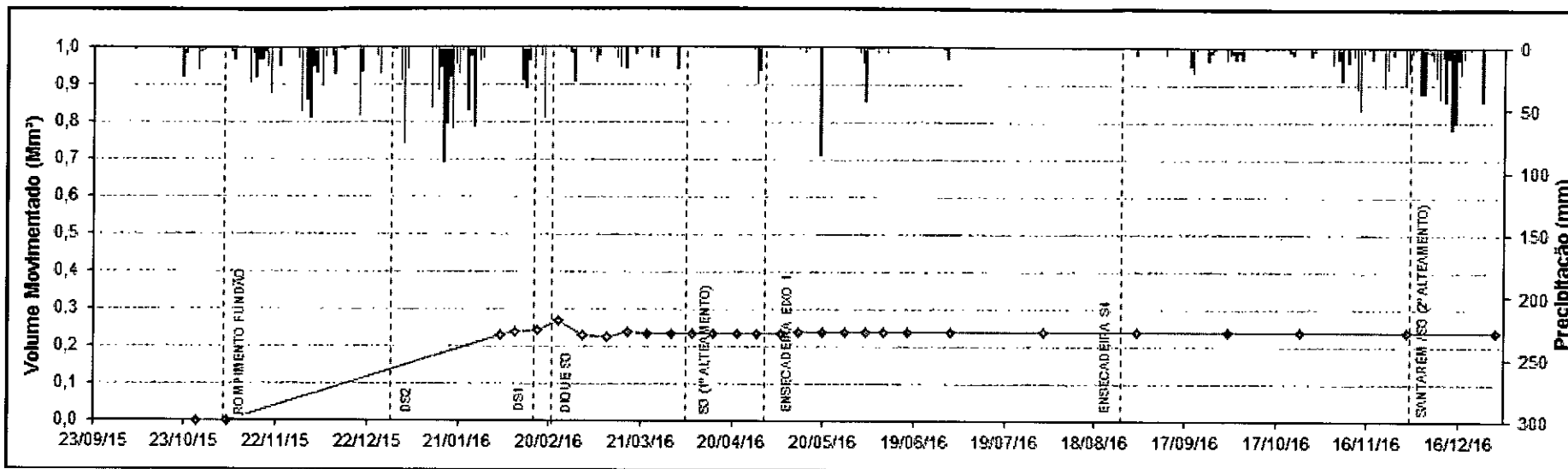


Figura 6.4 – Variação do volume contido entre a Barragem Nova Santarém e o Dique S2 no período de 27/10/2015 a 28/12/2016.

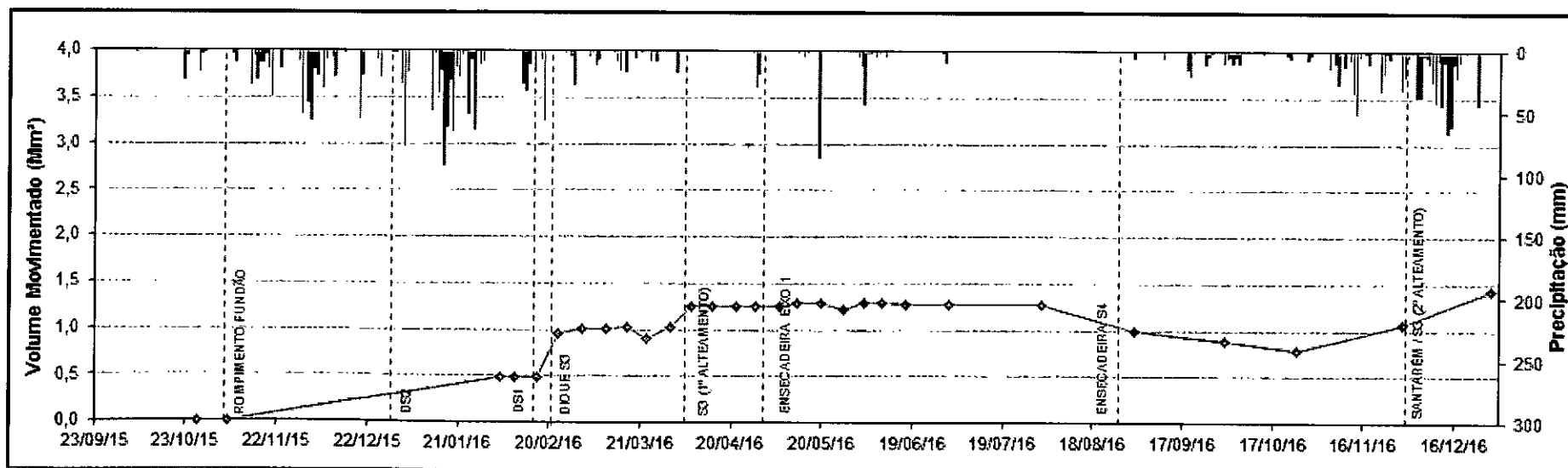
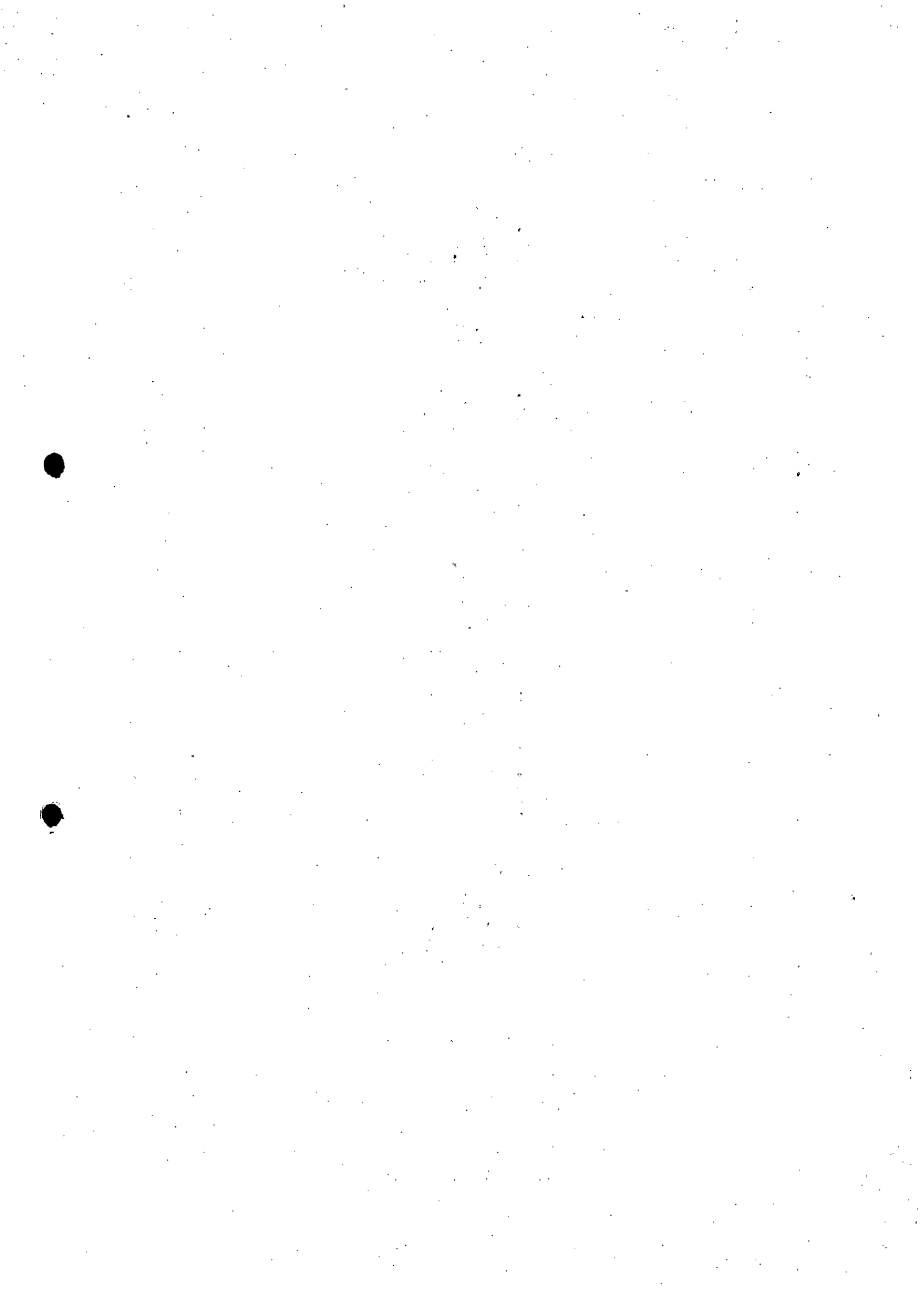


Figura 6.5 – Variação do volume contido entre o Dique S2 e o Dique S3 no período de 27/10/2015 a 28/12/2016.



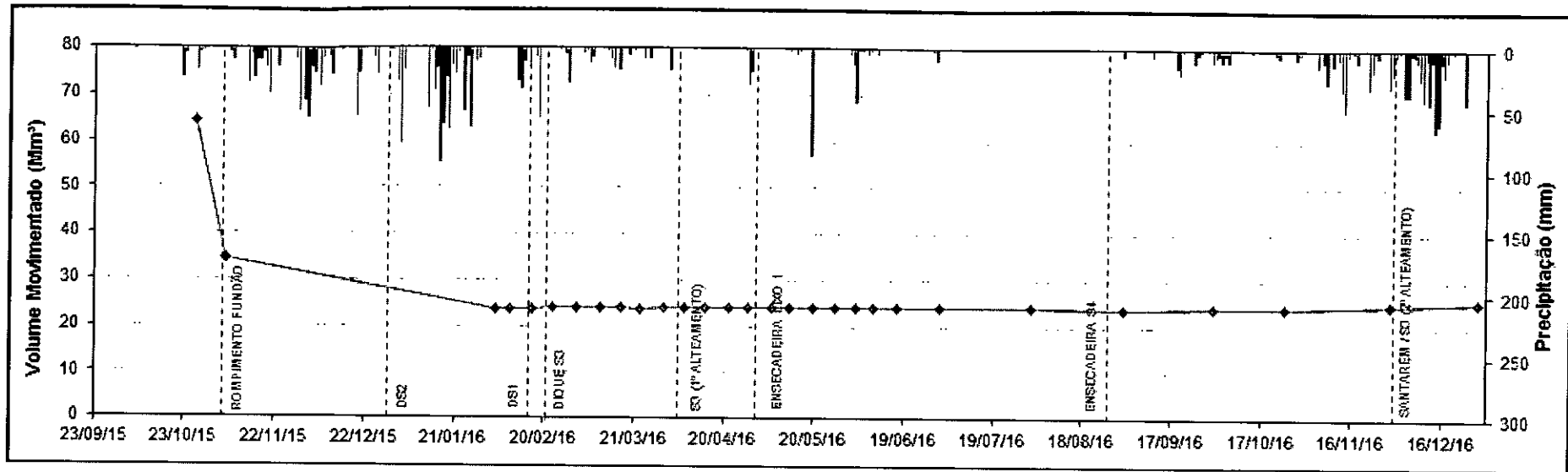


Figura 6.6 – Variação do volume contido no sistema entre 27/10/2015 e 28/12/2016.

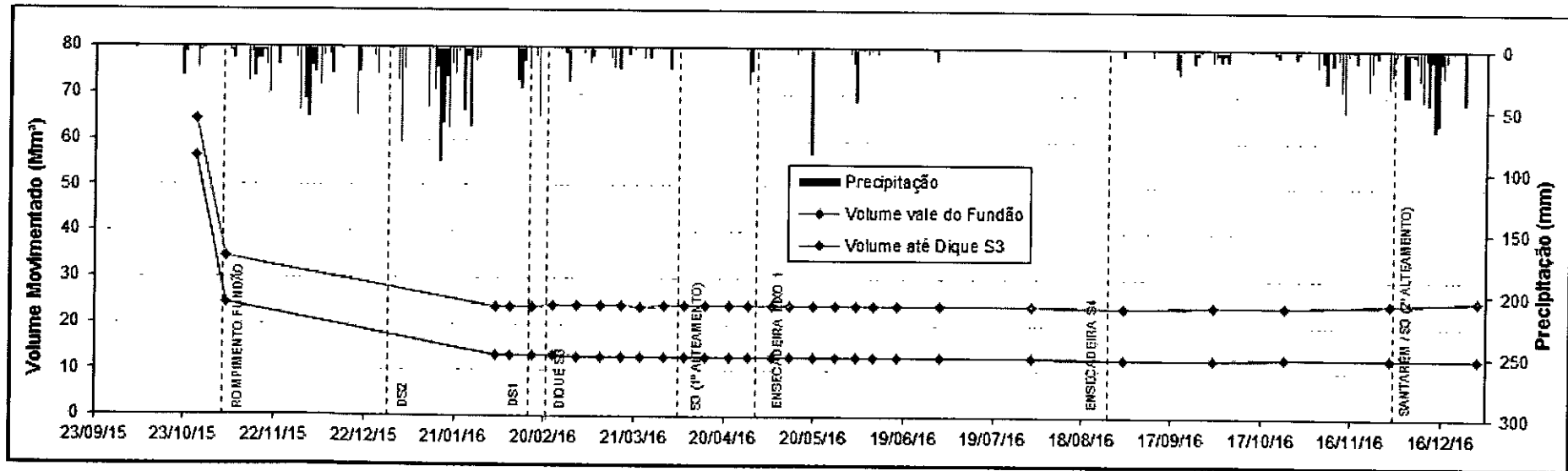
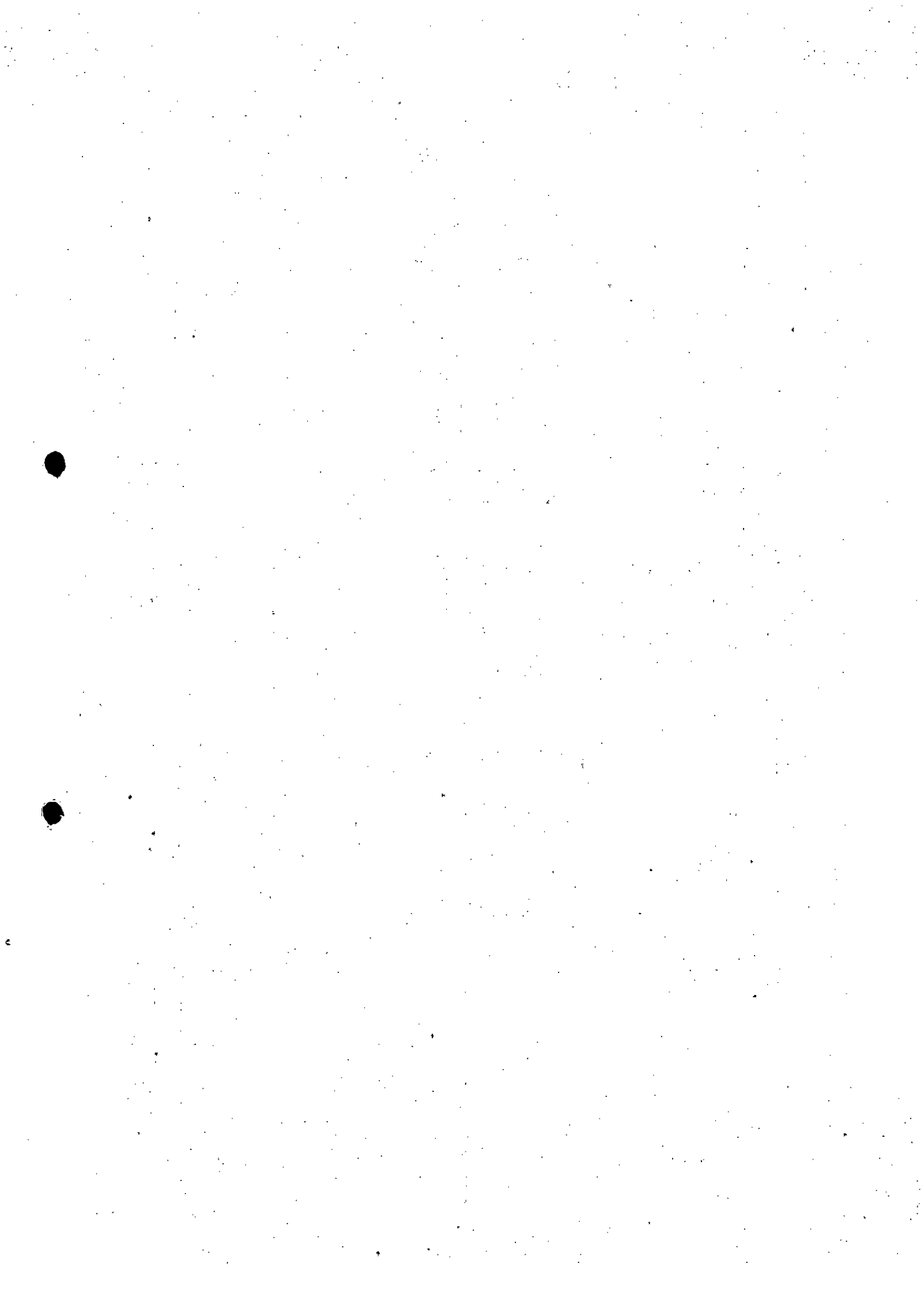


Figura 6.7 – Comparação entre o volume contido no vale do Fundão e até a seção correspondente ao Eixo do Dique S3 no período de 27/10/2015 a 28/12/2016.



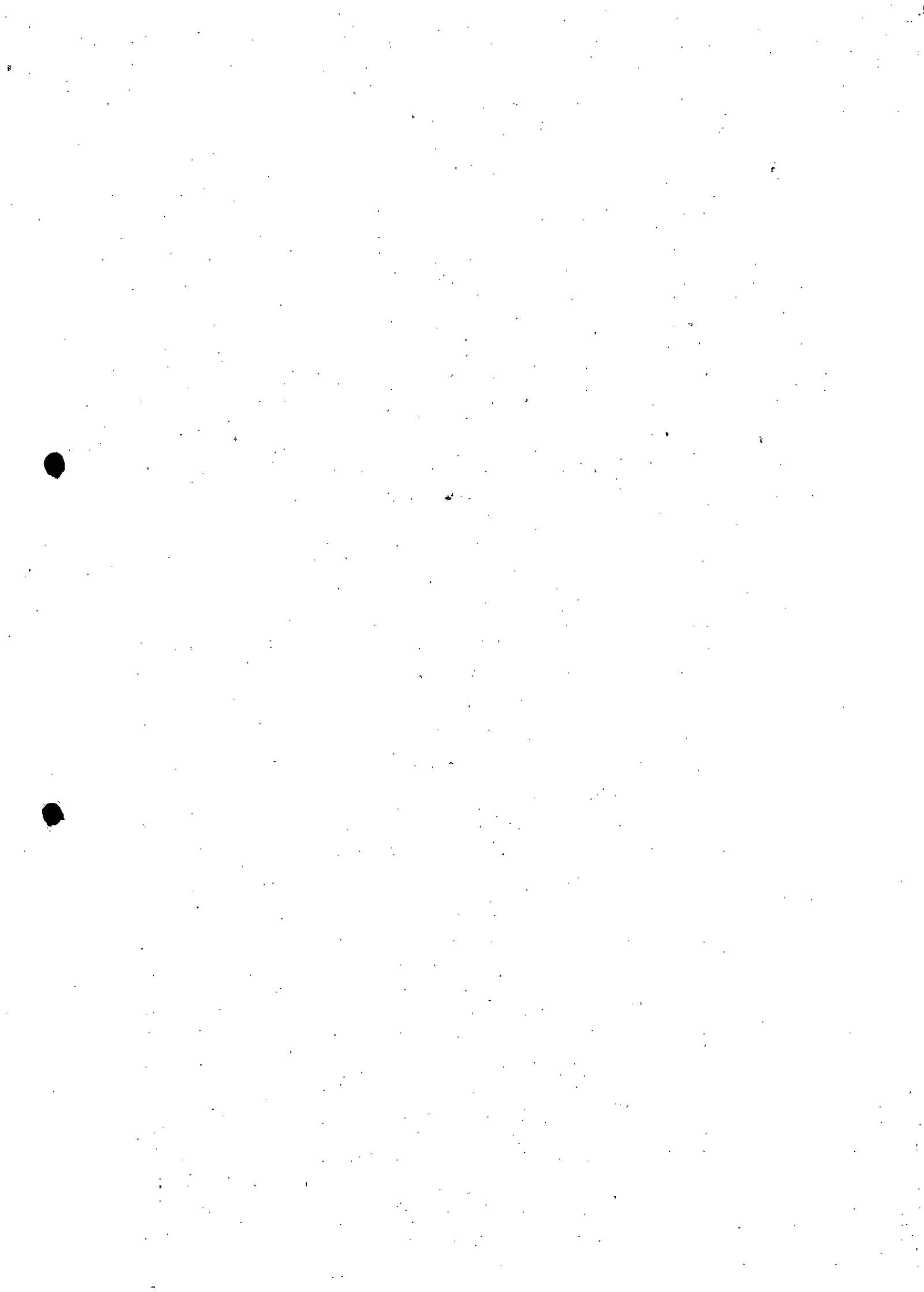
Dentre a série de levantamentos listados na Tabela 4.11 (Capítulo 4) foram selecionados pela POTAMOS aqueles realizados logo após a ocorrência de eventos significativos de chuva na bacia ou após a observação e/ou identificação de movimentos de massa e alteração no *layout* das estruturas de contenção em processo de implantação ao longo do trecho de interesse. Tais levantamentos foram selecionados para a reavaliação dos cálculos de volumes movimentados no trecho, feitos pela HGT. A Figura 6.8 indica os levantamentos selecionados e as figuras apresentadas no ANEXO 01 mostram as imagens e os modelos digitais de terreno (MDT) correspondentes.

Importante ressaltar que, como resultado dessa análise, foram encontradas algumas diferenças nos valores de volume computados pela HGT e pela POTAMOS. Tais diferenças se devem, provavelmente, às bases consolidadas e aos critérios de cálculo considerados. Essas diferenças estão sendo investigadas por ambas as empresas. Entretanto, tais valores não comprometem significativamente as análises apresentadas na sequência e as conclusões estabelecidas a partir dos valores considerados.

Os arquivos de levantamento batimétrico disponíveis para os reservatórios do Dique Eixo 01, da Barragem Nova Santarém e dos Diques S3 e S4 também, disponibilizados pela HGT, foram tratados e avaliados, no intuito de computar os volumes assoreados em cada estrutura. As figuras correspondentes aos levantamentos disponíveis também são apresentadas no ANEXO 01 e a Tabela 6.2 mostra os resultados obtidos.

Tabela 6.2 – Volumes calculados a partir dos levantamentos batimétricos dos reservatórios das estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO ao longo dos córregos do Fundão e Santarém.

Estrutura de Contenção	Data de Referência para Cálculo	Data das Batimetrias	Volume Assoreado (Mm ³)
Dique Eixo 1	27/05/2016	30/09/2016	6.932
Barragem Nova Santarém	19/08/2016	04/01/2017	79.596
Dique S3	15/12/2015	05/04/2016	1.244.230
	05/04/2016	04/05/2016	1.290.710
	04/05/2016	17/05/2016	1.297.910
	17/05/2016	24/05/2016	1.324.210
	24/05/2016	16/06/2016	1.369.210
	16/06/2016	13/07/2016	1.497.850
	13/07/2016	13/08/2016	1.530.750
	13/08/2016	30/11/2016	1.536.000
	30/11/2016	16/12/2016	1.757.000
Dique S4	26/09/2016	21/12/2016	52.349



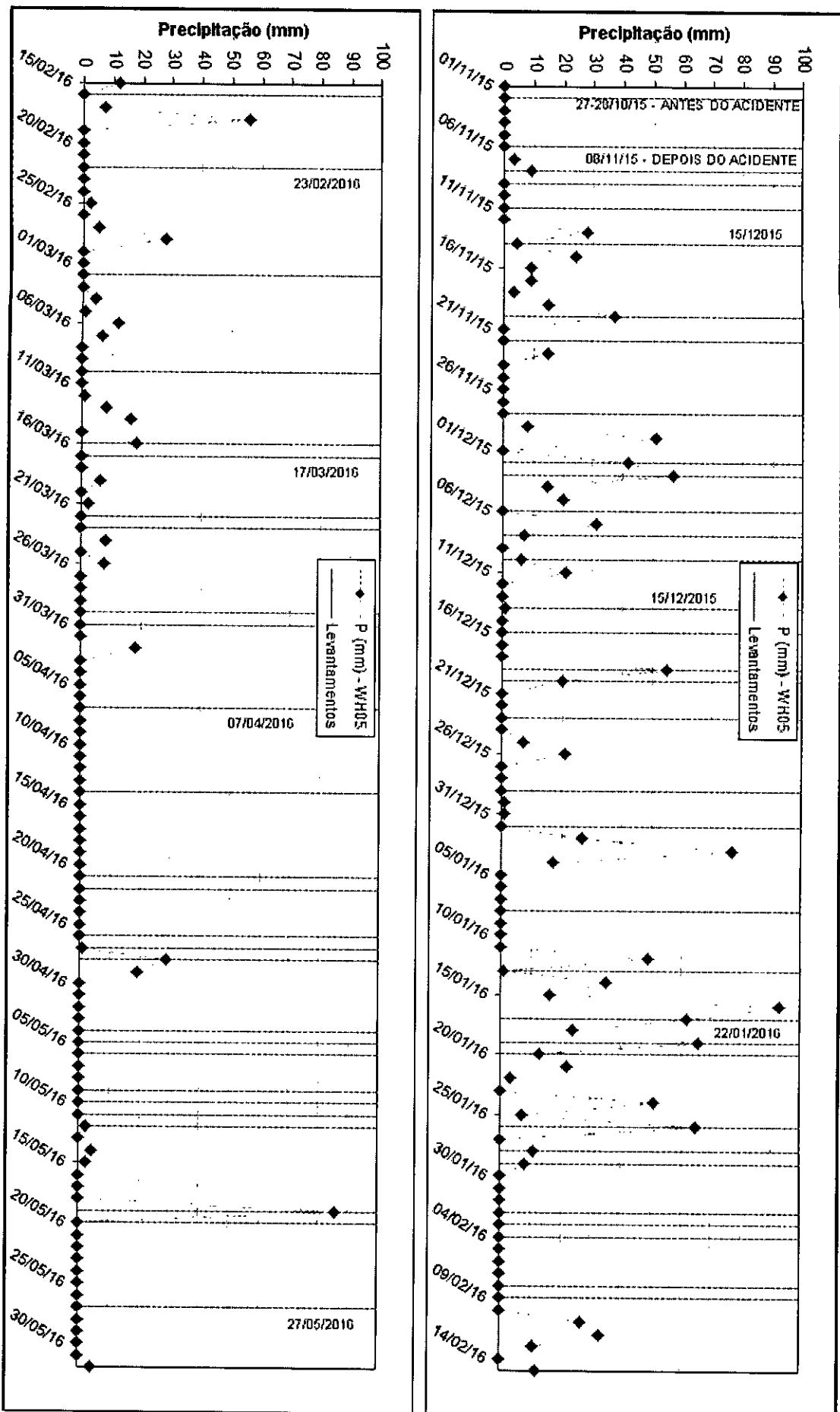
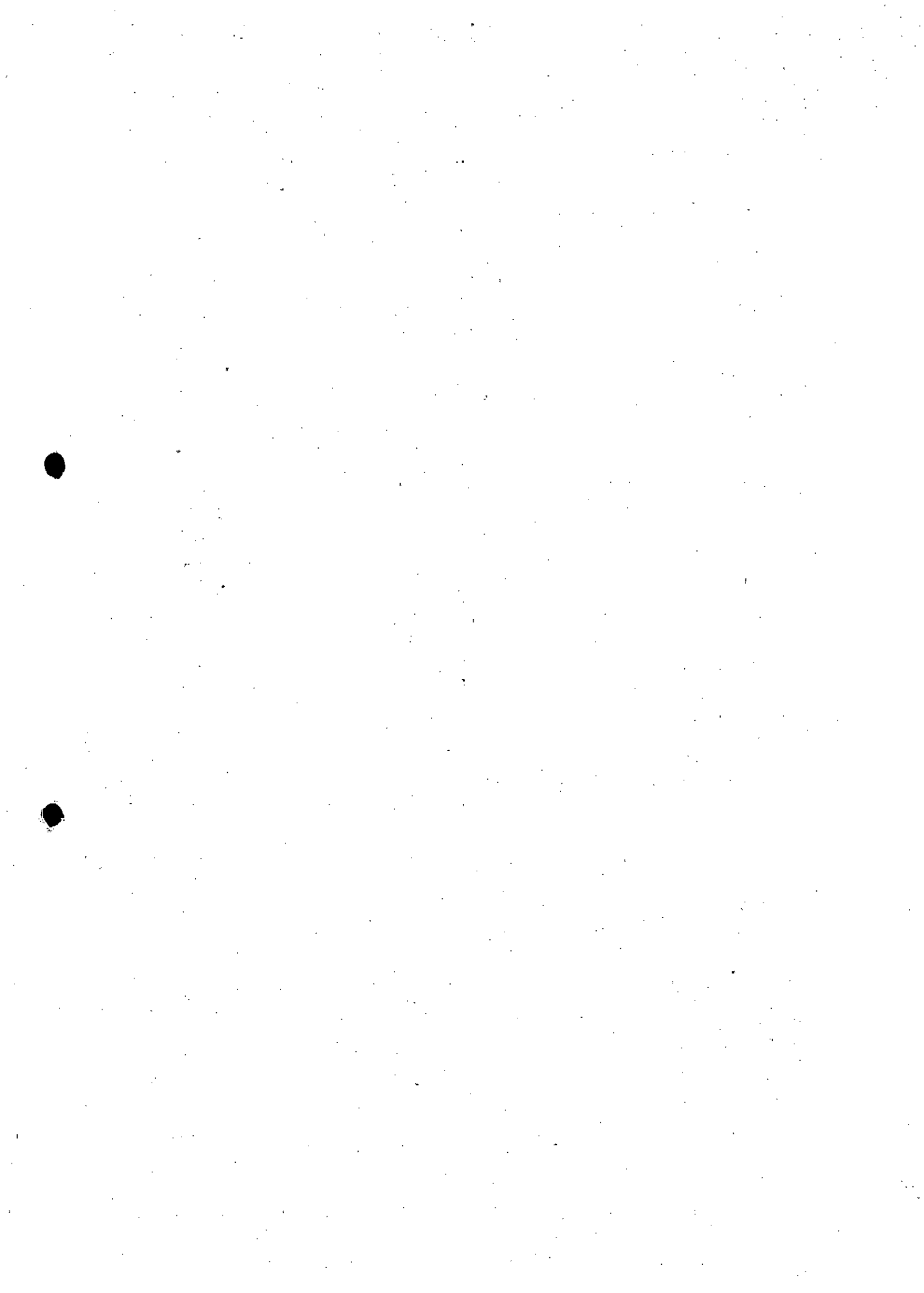


Figura 6.8 – Indicação dos levantamentos topográficos realizados pela HGT e daqueles selecionados para avaliação do cálculo de volumes.



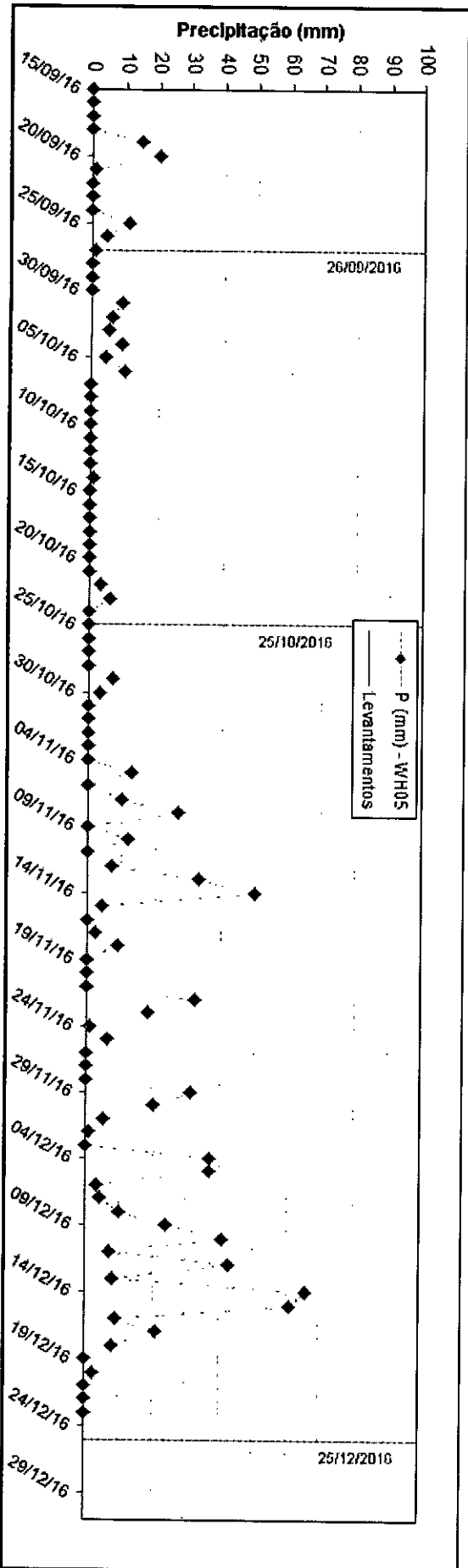
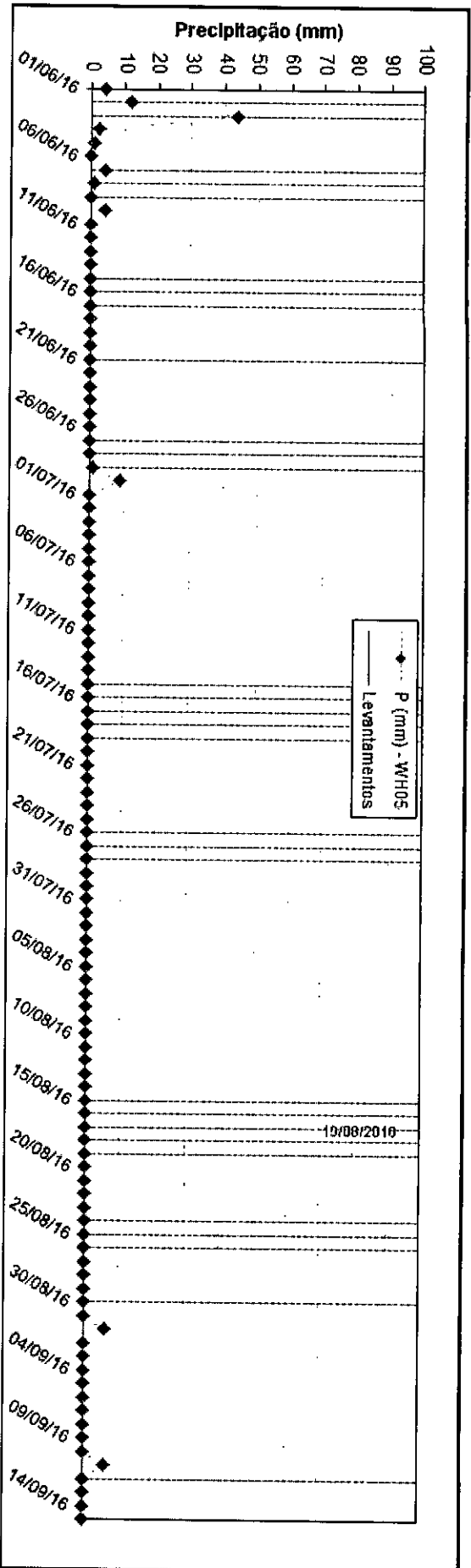
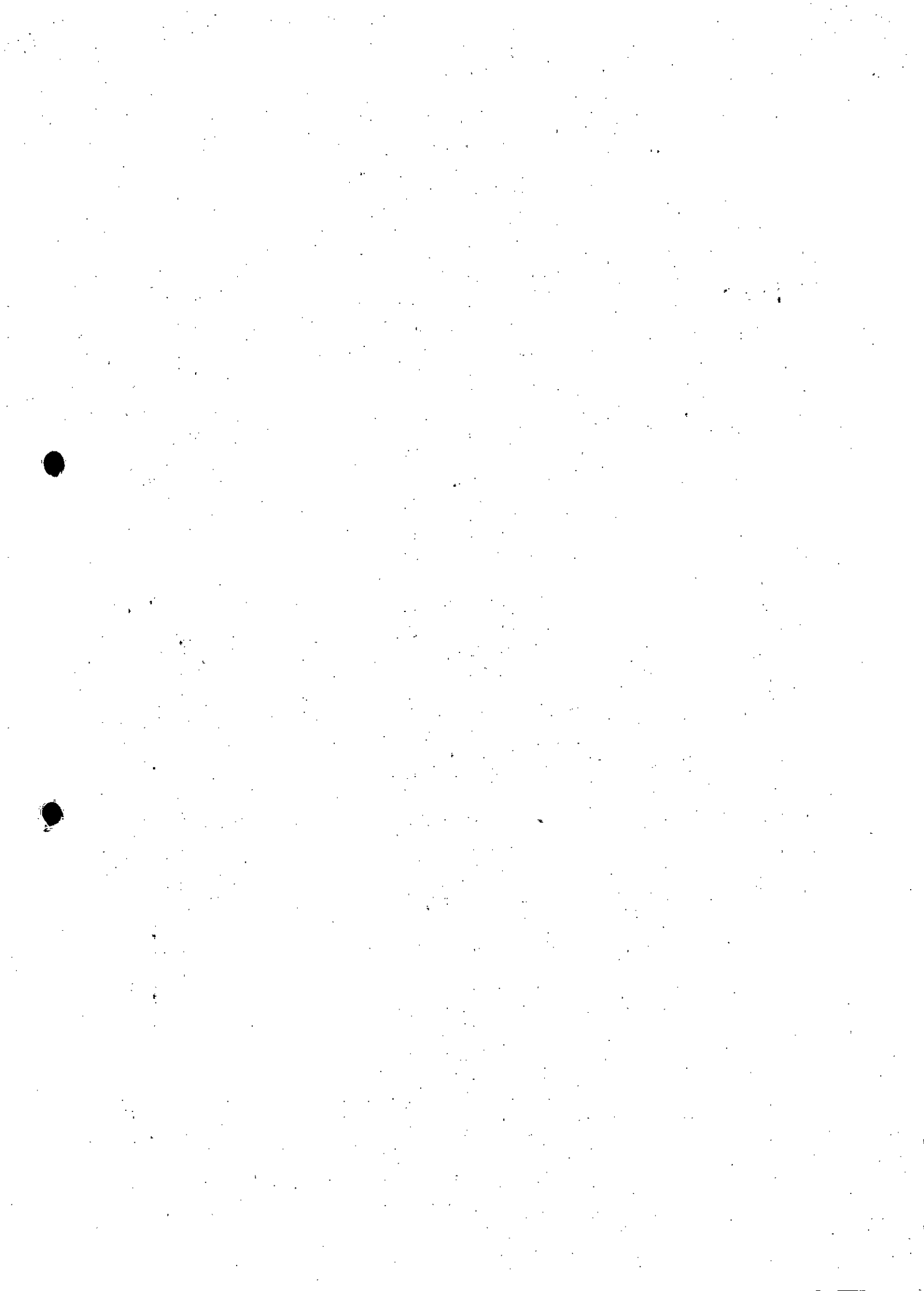


Figura 6.8 (continuação) – Indicação dos levantamentos topográficos realizados pela HGT e daqueles selecionados para avaliação do cálculo de volumes.

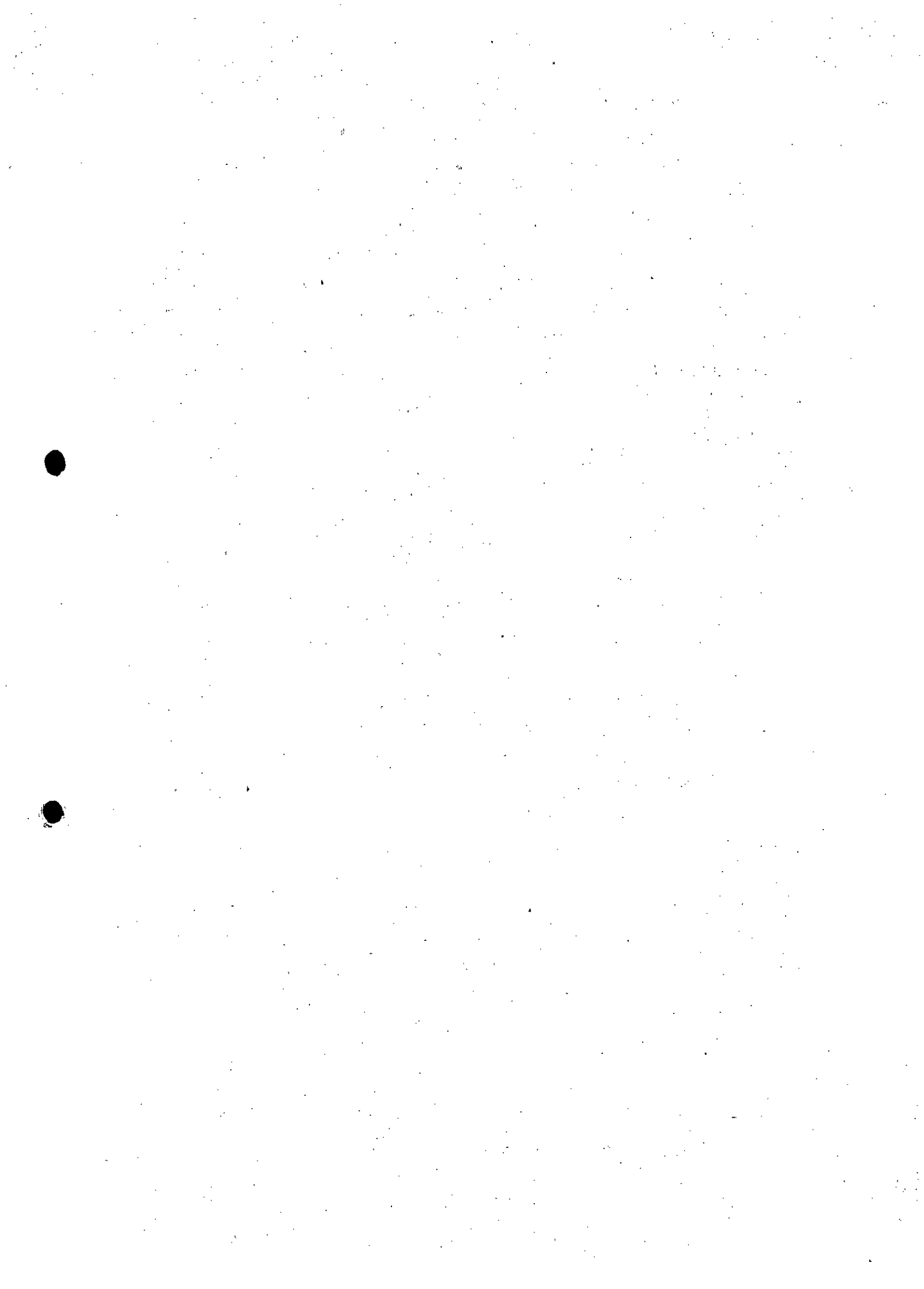


Os resultados apresentados na Tabela 6.1 e Figura 6.2 permitem concluir que o rompimento da Barragem de Fundão promoveu a movimentação de cerca de 32,0 Mm³ de material (06/11/15 – 27/10/15). Após esse evento de maior monta, houve outra movimentação significativa de material no vale do Fundão, cujo volume estimado é da ordem de 11,0 Mm³ (05/02/16 – 06/11/15). Posteriormente, são registradas pequenas movimentações de volume até abril de 2016, que não superam 230.000 m³ e a partir desta data quantidades muito baixas de volume e índices de retenção de material, consequência da redistribuição do mesmo ao longo do próprio vale e da implantação de estruturas de contenção (Barreiras B1 a B4, ver cronograma – Figura 4.1 do Capítulo 4).

A Figura 6.3 mostra que todo e qualquer volume defluente do vale do Fundão após janeiro de 2016 não ficou armazenado no reservatório e margens da Barragem Santarém, tendo em vista que o mesmo já se encontrava totalmente assoreado. No restante do trecho, ou seja, a jusante do vale da antiga barragem é possível verificar a contenção do material, desde novembro de 2015 até fevereiro de 2016, principalmente devido à implantação das estruturas de contenção Dique S1 (ensecadeira e mesmo a montante), Dique S2 e Dique S3 (ambas a jusante), conforme indicado na Figura 4.2 – Capítulo 4. Tal fato fica evidente nas Figuras 6.4 e 6.5 que mostram os volumes armazenados no vale dos córregos Fundão e Santarém até o eixo do Dique S2 e Dique S3, respectivamente. Na Figura 6.5 também fica evidente os benefícios das duas obras de alteamento do Dique S3, concluídas respectivamente em março e novembro de 2016. Vale ressaltar que durante a obra do 2º alteamento do Dique S3, foi realizada a obra de dragagem e remobilização do material depositado em seu reservatório (item 4.2), fato que culminou com a falsa indicação de queda no armazenamento mostrada na citada figura entre julho e novembro de 2016.

A fim de quantificar a eficiência de contenção dos diques, foi realizada uma série de cálculos, cuja síntese é apresentada na Tabela 6.3. Analisando os resultados apresentados, em conjunto com aqueles listados na Tabela 6.1, pode-se verificar que o volume defluente do vale do Fundão, após o evento de ruptura e em todo o período considerado é da ordem de 11,3 Mm³. Destes, 11,1 Mm³ foram movimentados quando ainda não havia estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO no trecho de jusante, com exceção do maciço de partida do Dique 3 (em construção), impedindo a retenção de todo esse material no sistema.

Os cerca de 200.000 m³ de diferença entre esses valores foram liberados entre 02/2016 e 12/2016, período em que, de forma distribuída no tempo, quase todas as estruturas de contenção projetadas pela SAMARCO já haviam sido implantadas total ou parcialmente. Como o volume assoreado por essas estruturas representa cerca de 2.100.000 m³ (Tabela 6.3), pode-se concluir que os respectivos



reservatórios não só contiveram os rejeitos/lama advindos do vale do Fundão (200.000 m³), como também acumularam o material proveniente das bacias incrementais de contribuição, sejam eles (i) resultado da remobilização de material depositado no vale compreendido entre a antiga Barragem do Fundão e o Dique S3; (ii) decorrentes de movimentação das obras de construção de estruturas e acessos pela própria empresa; ou (iii) provenientes de fontes de erosão natural.

Conforme apresentado no item 5.4.3.2 do Capítulo 5, as sub-bacias hidrográficas situadas no trecho compreendido entre o vale do Fundão e Dique S3 tem potencial de produção de sedimentos, em condições naturais, estimado em cerca de 1500 m³/ano (adotando-se γ de 1,5 m³/ano) ou 880 m³/ano (com γ de 2,5 m³/ano), em ambos os casos descontando-se a contribuição da bacia do Dique S4. No caso da metodologia que se vale de dados regionais esses valores seriam da ordem de 9300 m³/ano e 5600 m³/ano, respectivamente. Qualquer um desses valores, somados ao valor liberado pelo vale do Fundão, é bastante inferior ao volume movimentado no sistema entre 02/2016 e 12/2016, estimado em aproximadamente 1,80 Mm³ e também armazenado pelas estruturas de contenção.

Esse fato corrobora a evidência de que não estão sendo movimentados grandes volumes do vale do Fundão e o material eventualmente movimentado está sendo retido pelas estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO no trecho de interesse.

Em caráter ilustrativo e para reforçar a capacidade de contenção do Dique S3, estrutura de contenção implantada pela SAMARCO nos limites do trecho em análise e cujo reservatório é formado pelos braços do córrego Santarém e Mirandinha, foi montada a Figura 6.9, na qual são demarcadas todas as etapas construtivas da estrutura e a evolução do volume útil do reservatório.

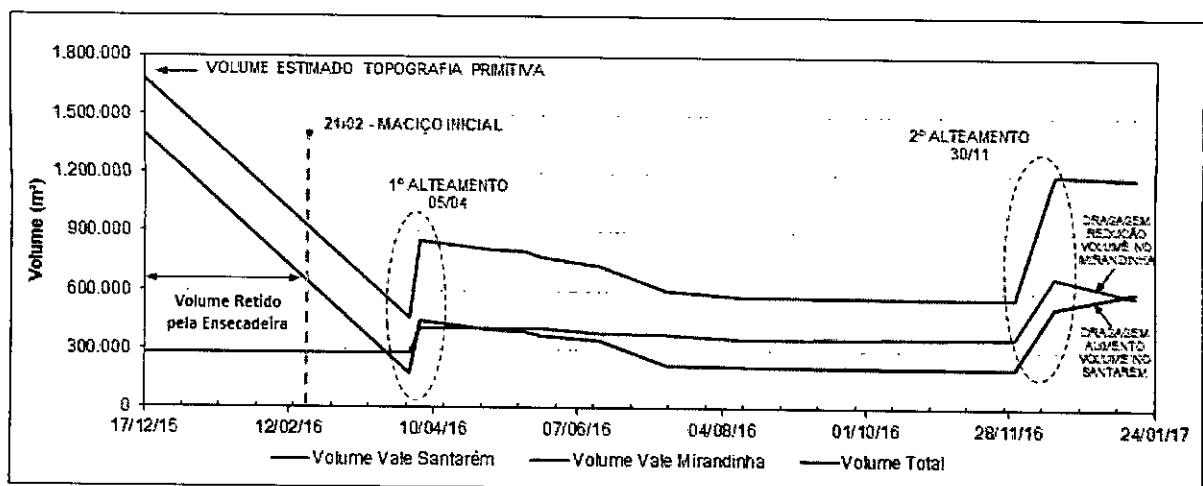


Figura 6.9 - Variação do volume útil do Dique S3 ao longo do tempo.

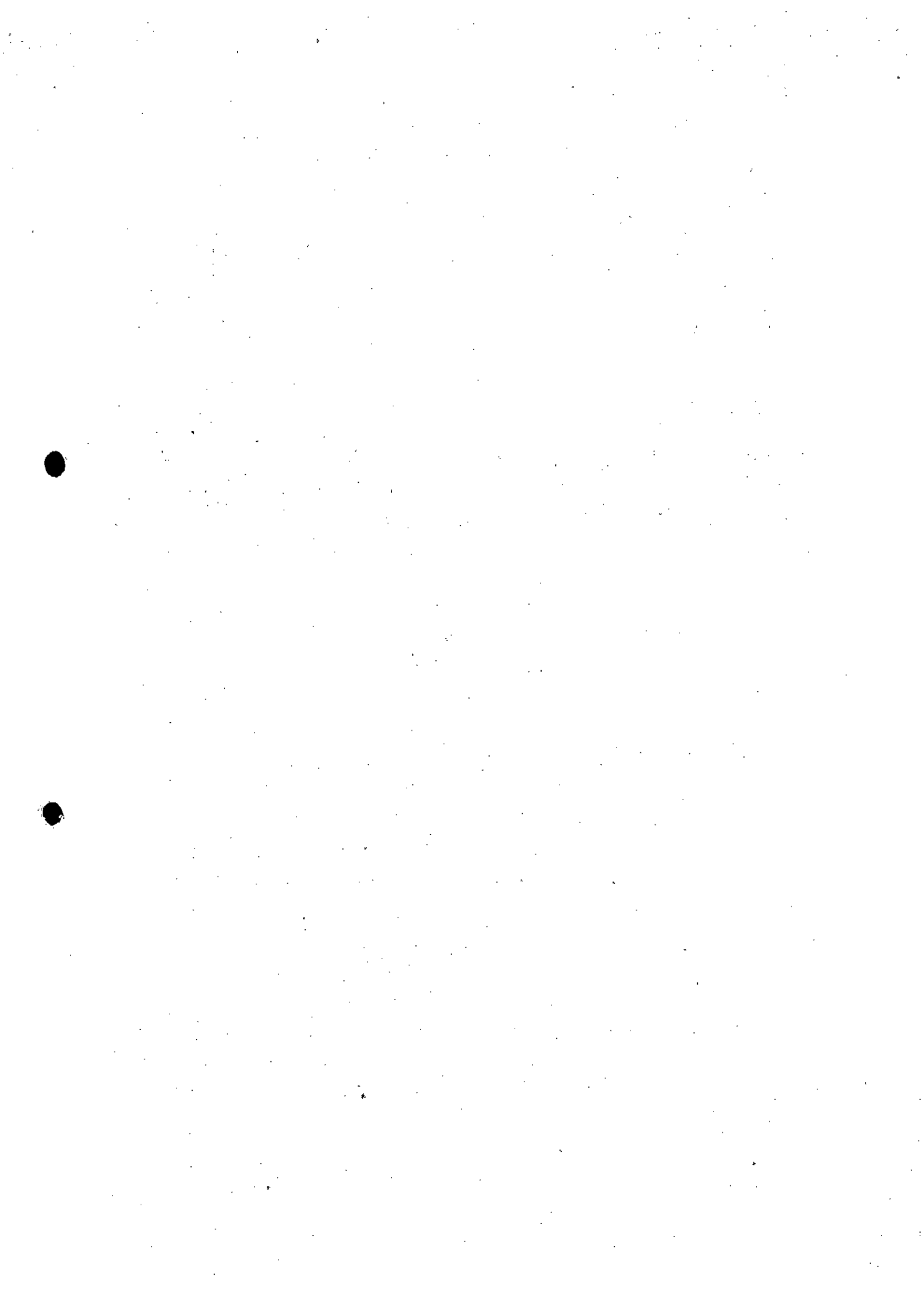


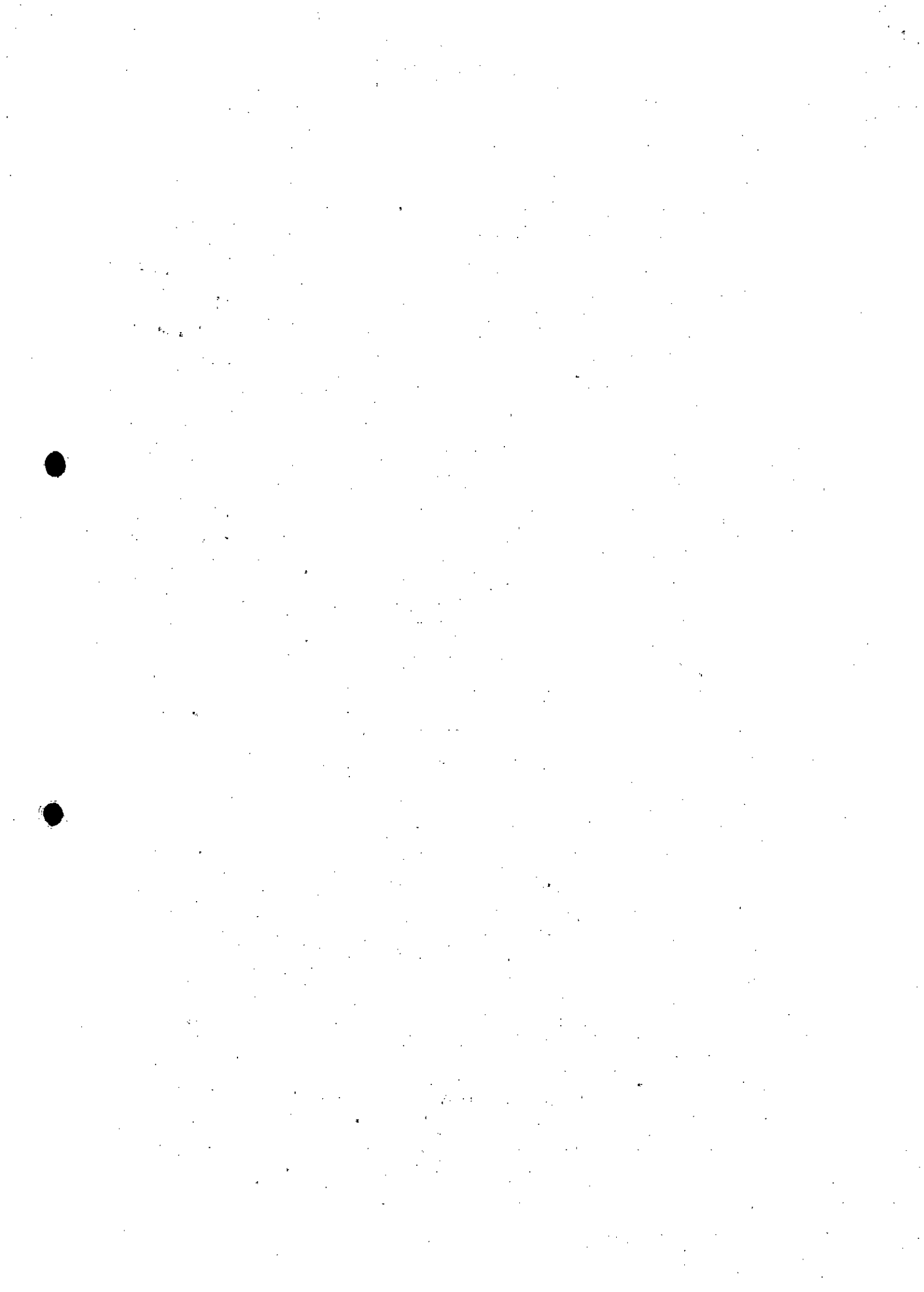
Tabela 6.3 – Avaliação da eficiência de contenção das estruturas implantadas pela SAMARCO no vale dos córregos do Fundão e Santarém.

Período de Análise	Volume (m ³)		
	Vale do Fundão	Sistema (Eixo Dique S3)	Retidos pelo Sistema
Antes da Ruptura	56.410.000	64.225.000	-
Depois da Ruptura	24.250.000	34.310.000	-
Atual (31/12/16)	12.961.900	25.369.900	-
“VAZADOS”	32.160.000	29.915.000	2.245.000
Balanço de Volumes das Estruturas de Contenção			
Estruturas	Volume Total (m ³)	Volume Disponível (m ³)	Volume Assoreado/ Retido (m ³)
Barreiras B1 a B4	89.468	34.540	54.928
Dique Eixo 1	133.711	0	133.711**
Barragem Nova Santarém	5.217.000	5.137.404	79.596
Dique S1	16.000	0	16.000
Dique S2	45.000	0	45.000
Dique S3	2.950.000	1.193.000	1.757.000
Ensecadeira Dique S4*	115.000	62.651	52.349
TOTAL (m³)	8.587.468	7.669.820	2.086.235

*Valores não considerados no cômputo total. ** Representativo da condição atual (campo).

É importante destacar que os cálculos que levaram à construção das Figuras 6.2 a 6.7 e Tabela 6.1 correspondem aos levantamentos topográficos e à análise dos mesmos por meio de modelos digitais de terreno, forma mais abrangente de avaliação. Tais cálculos não são tão detalhados quanto àqueles indicados pelos levantamentos batimétricos, cujos resultados são mostrados na Tabela 6.2. Esses fatos justificam as diferenças observadas no cômputo dos volumes armazenados em alguns trechos do vale, como entre a Barragem Nova Santarém e o Dique S2 e entre este e o Dique S3.

Em tempo, as coletas de amostras de fundo a serem realizadas ao longo dos córregos do Fundão e Santarém, além do rio Gualaxo do Norte, tinham como objetivo a caracterização granulométrica do material depositado nas respectivas calhas, conforme a variabilidade espacial das estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO neste trecho. O intuito principal era demonstrar a retenção de material grosseiro nos reservatórios das estruturas situadas mais a montante dos vales, com conseqüente e esperado decaimento da granulometria do material presente para jusante. No entanto, as frequentes alterações e obras locais e a conseqüente variabilidade do ponto de coleta, devido à mudança de acesso, entre outros fatores, levaram a obtenção de resultados bastante variáveis, não sendo possível apresentar e comprovar tal hipótese. Dessa forma, tais resultados não são aqui apresentados.



6.2 VARIÁVEIS SEDIMENTOLÓGICAS E PARÂMETROS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

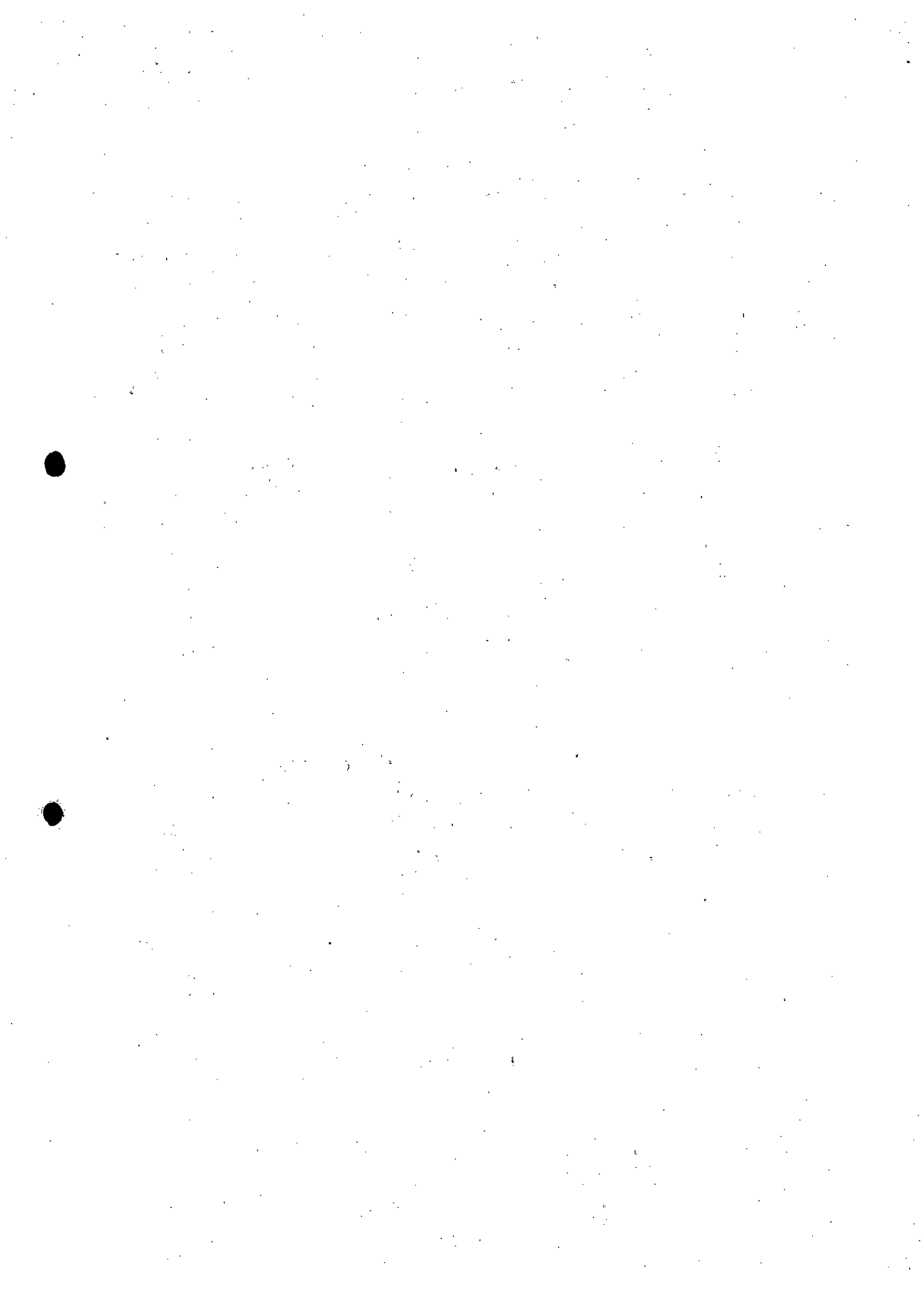
Conforme indicado no Capítulo 4 (item 4.5), a SAMARCO mantém uma rede de monitoramento destinada à coleta de amostras para análise de parâmetros de qualidade das águas e variáveis sedimentológicas. Essa rede está implantada na bacia hidrográfica do rio Doce, principalmente ao longo dos cursos de água impactados pela onda de ruptura da Barragem do Fundão e no trecho de cursos de água compreendido entre o vale da estrutura citada e a foz do córrego Santarém no rio Gualaxo do Norte.

Alguns desses parâmetros vêm sendo utilizados pela empresa como indicadores da eficiência de retenção das estruturas implantadas ao longo do vale dos córregos do Fundão e Santarém para conter eventuais vazamentos de rejeitos e lama remanescentes na área da barragem rompida. Por esse motivo, em meados de dezembro de 2016 a SAMARCO intensificou a malha de pontos de monitoramento no vale do córrego Santarém, para melhor caracterizar e constatar esse provável benefício.

Levando-se em conta todo o histórico de implantação das obras de contenção projetadas pela SAMARCO (item 4.1 do Capítulo 4), bem como o período de dados de monitoramento disponíveis, foram estabelecidos dois critérios de análise a partir das informações existentes.

Os dados referentes ao período compreendido entre o início das campanhas de monitoramento e a data de 30/12/2016 foram utilizados para traçar um panorama do processo evolutivo de efetividade das obras em curso. Já os dados coletados no período de dezembro de 2016 a janeiro de 2017, frutos de um trabalho de intensificação das coletas pela equipe da SAMARCO, foram utilizados para demonstrar a atual eficiência do sistema de contenção de eventuais vazamentos do vale do Fundão.

É importante ressaltar, mais uma vez, que apesar de considerados nas análises subsequentes, os registros de monitoramento dos pontos situados a jusante do Dique S4 não servem de base para avaliação da eficiência de contenção do sistema de estruturas ou medidas implantadas pela SAMARCO no vale do córrego Santarém. Isto porque, como já comentado outras vezes ao longo deste texto, tal estrutura foi implantada com o objetivo principal de conter o material depositado na região do povoado de Bento Rodrigues.



6.2.1 Análise dos Registros Históricos de Monitoramento

Dentre a rede de pontos listada e apresentada no item 4.5 (Capítulo 4), foram selecionados para análise os pontos indicados na Tabela 6.4. Tal seleção foi fundamentada na localização dos mesmos ao longo da rede de drenagem de interesse, bem como no período de registros disponíveis e nas variáveis e parâmetros monitorados. A Figura 4.31 (Capítulo 4) mostra a localização desses pontos ao longo da bacia hidrográfica do rio Doce. Essa localização também indicada no diagrama unifilar mostrado na Figura 6.9.

Conforme indicado na Tabela 6.4, a maioria dos pontos de monitoramento, geralmente pertencentes à rede da SAMARCO apresenta apenas a análise dos parâmetros de turbidez e sólidos suspensos, índices geralmente relacionados à presença de partículas em suspensão na água. Por esse motivo esses parâmetros foram assumidos como índices básicos para avaliação da eficiência de retenção de vazamentos do vale do Fundão. No entanto, tendo em vista a maior proporção de pontos com registros de turbidez, as análises mais detalhadas e apresentadas na sequência, foram realizadas com base nesse parâmetro.

Apenas para efeito de visualização da massa de dados disponível, as Figuras 6.10 e 6.11 apresentam a distribuição temporal dos registros de turbidez e sólidos em suspensão correspondentes aos pontos selecionados para análise. Os registros cujas linhas foram representadas na cor (i) laranja, correspondem aos pontos de monitoramento localizados ao longo do córrego Santarém; (ii) azul, os pontos situados no rio Gualaxo do Norte, a montante da confluência com o córrego Santarém; (iii) verde, os pontos situados no rio Gualaxo do Norte a jusante da confluência citada; (iv) rosa, os pontos correspondentes ao ribeirão do Carmo; e (v) roxo, aqueles localizados no rio do Carmo.

Os gráficos supracitados permitem observar a grande massa de registros acima dos limites legais estabelecidos pela resolução CONAMA 375/2005 e Deliberação COPAM 01/2008, bem como uma possível correlação dos parâmetros com os índices pluviométricos. No caso do córrego Santarém pode-se notar, ainda, a influência positiva das ações e obras de contenção implantadas pela SAMARCO ao longo deste curso de água. Essas observações serão detalhadas na sequência.

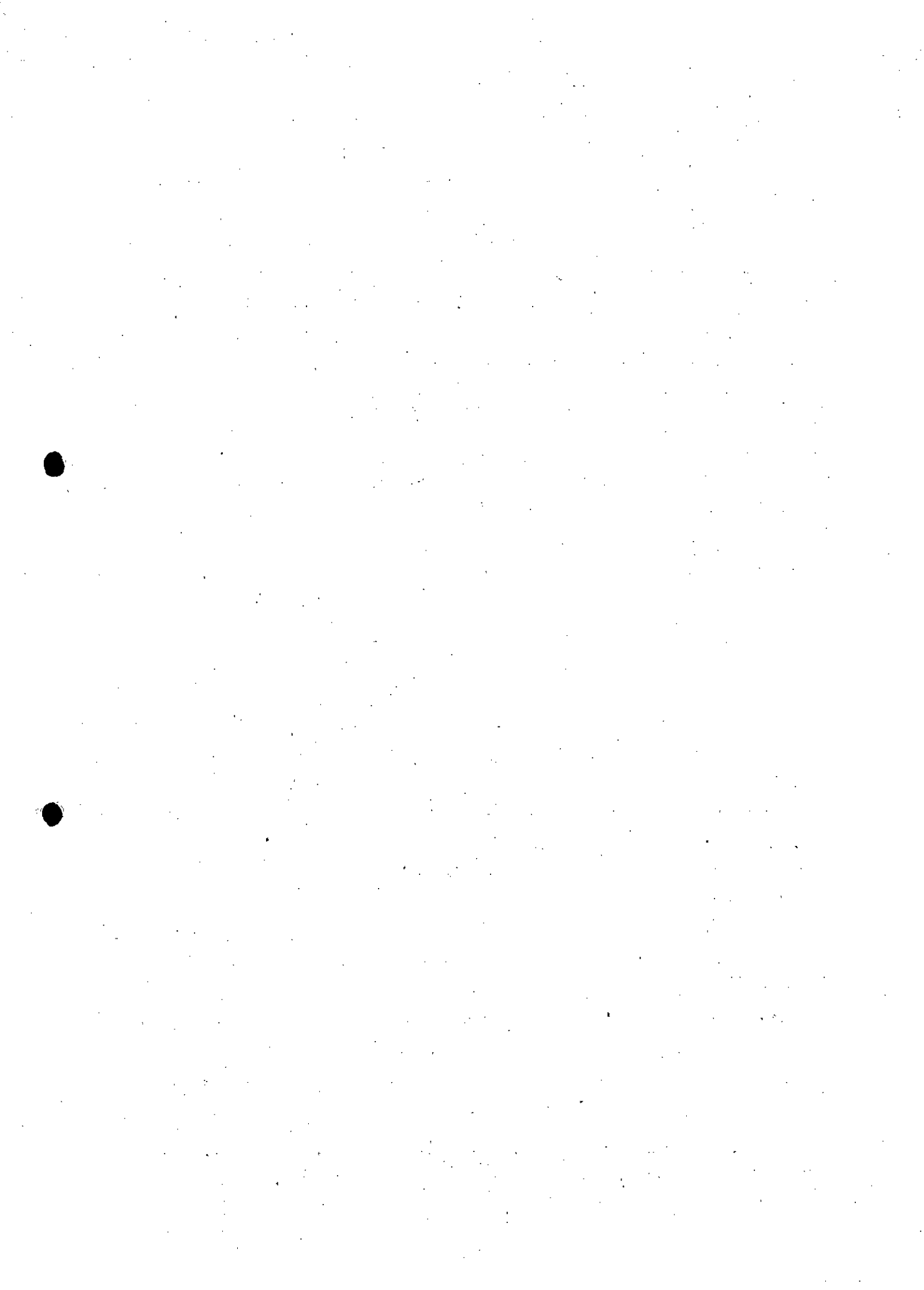


Tabela 6.4 – Pontos de monitoramento selecionados para avaliação da eficiência de retenção das estruturas implantadas pela SAMARCO.

Código	Descrição	Período de Dados	Laboratório	Variáveis de Interesse Monitoradas
TUR-26	Rio Gualaxo do Norte Branco	12/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
AFL-03	Gualaxo do Norte Montante	12/15 a 11/16	Merieux	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
TUR-80	Vertedouro de Santarém	01/15 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
TUR-11	Jusante Dique S2	01/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
RDC-120	Dique S3	03/16 a 12/16	Limnos	Turbidez, Sólidos Sedimentáveis, Dissolvidos, Suspensos e Totais
TUR-69	Montante Dique S3	04/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
TUR-77	Jusante Dique S3	02/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
RDC-124	Dique S3 Jusante	06/16 a 12/16	Tommasi	Turbidez, Cor Aparente e Verdadeira, Sólidos Sedimentáveis, Dissolvidos, Suspensos e Totais
MG-02	Camargos Jusante	12/15 a 03/16	Gorceix	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos
TUR-78	Jusante Dique S4	03/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
TUR-79	Rio Gualaxo do Norte Captação	02/16 a 12/16	Samarco	Turbidez
TUR-81	PCH Bicas (Gualaxo Dique 01)	04/16 a 12/16	Samarco	Turbidez, Sólidos Suspensos
AFL-02	Rio do Carmo 2 Montante	12/15 a 11/16	Merieux	Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Dissolvidos, Suspensos e Totais
TUR-20	Ribeirão do Carmo Branco	12/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
TUR-25	Rio Gualaxo do Norte	12/15 a 12/16	Samarco	Turbidez
TUR-19	Ribeirão do Carmo	11/15 a 11/16	Samarco	Turbidez



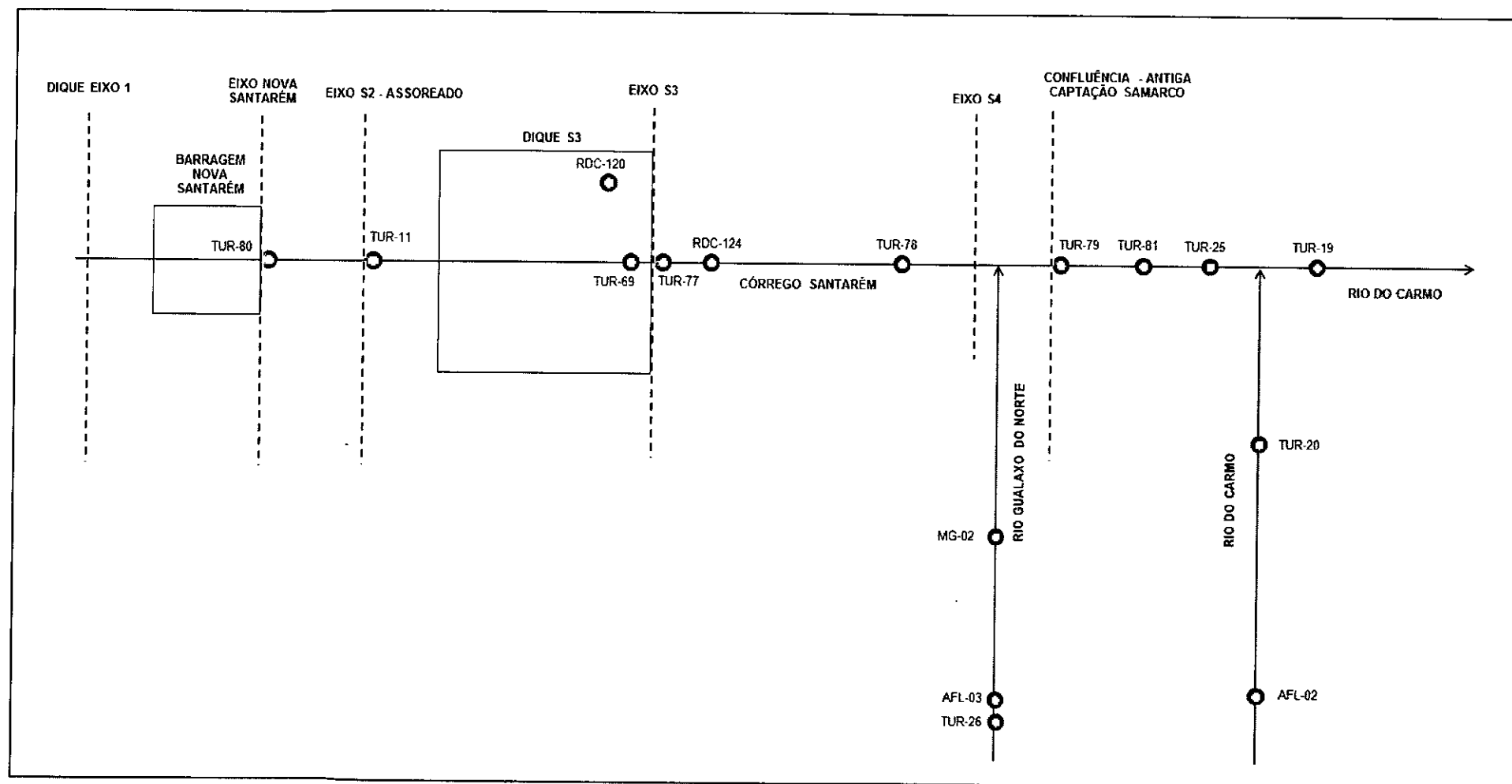
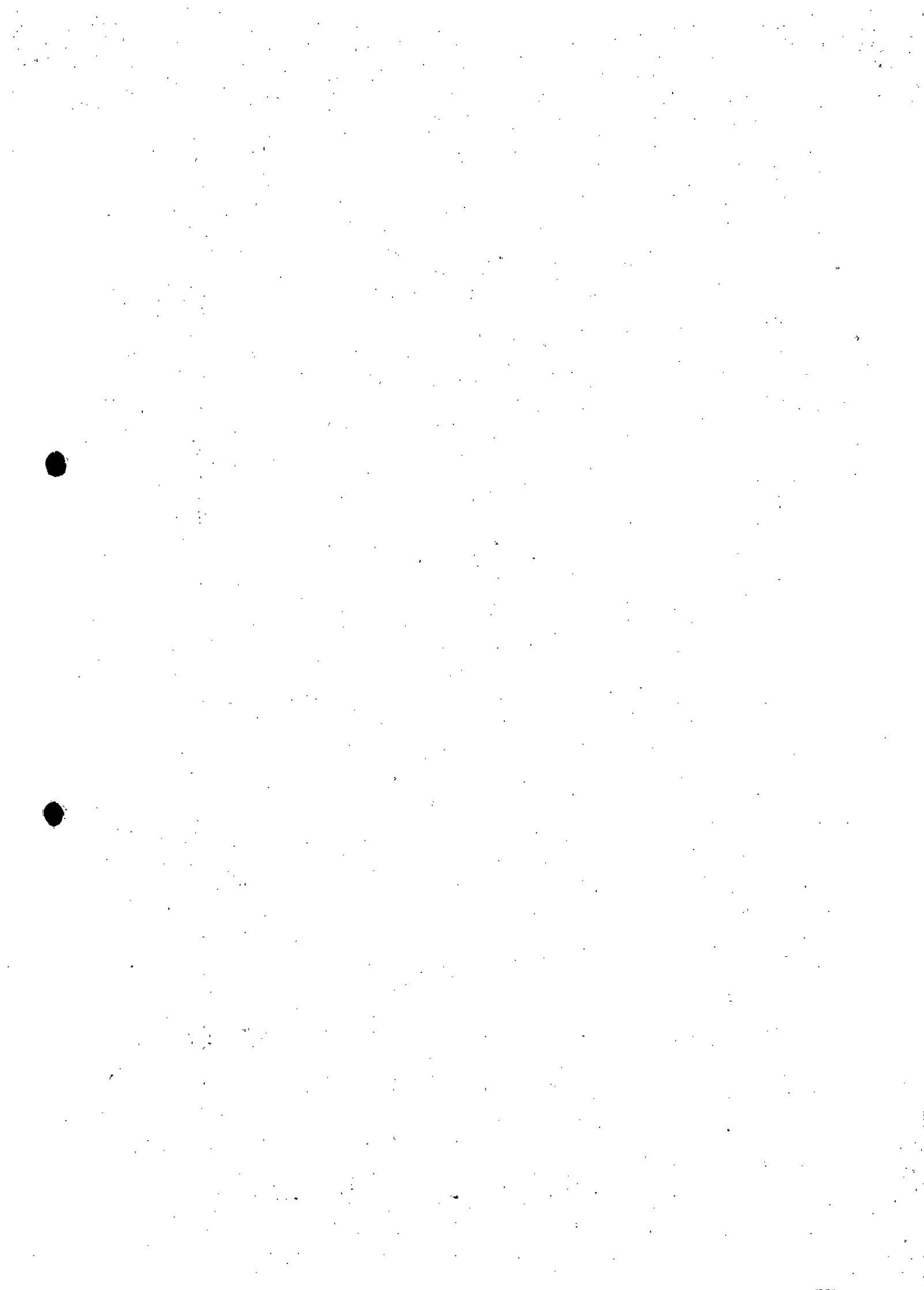


Figura 6.9 – Diagrama unifilar dos pontos de monitoramento selecionados para avaliação da eficiência de retenção das estruturas implantadas pela SAMARCO.



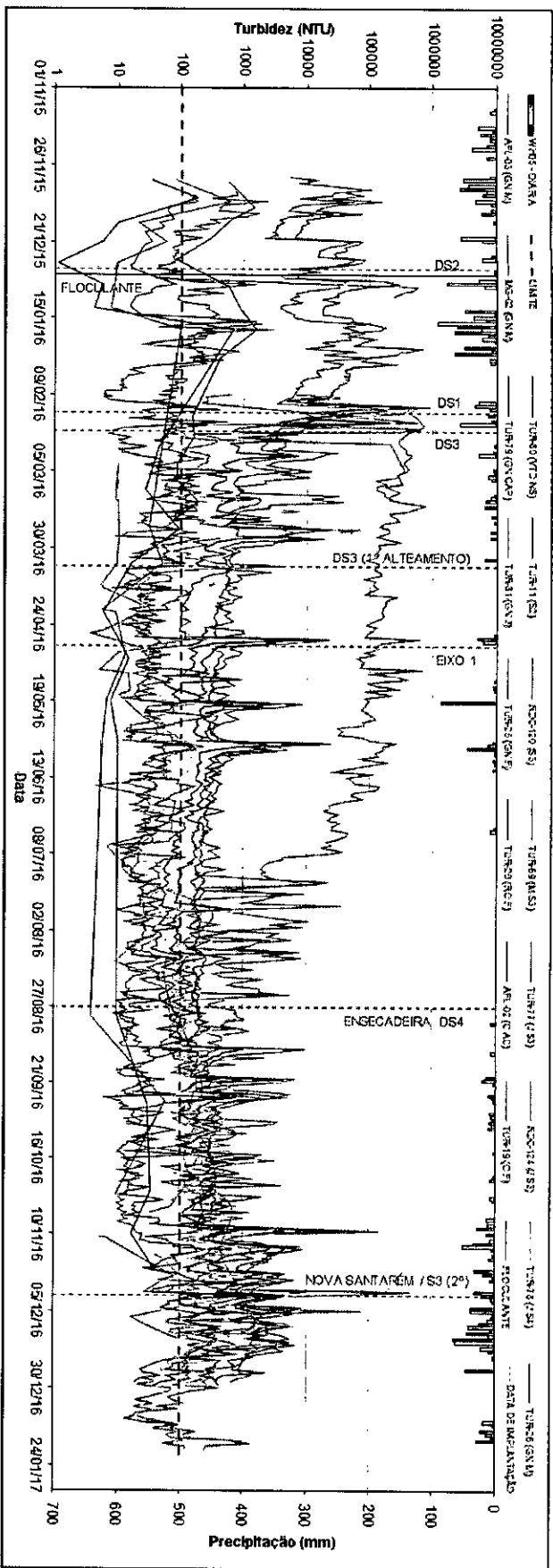


Figura 6.10 – Registros de turbidez dos pontos de monitoramento selecionados para avaliação da eficiência de retenção das estruturas implantadas pela SAMARCO.

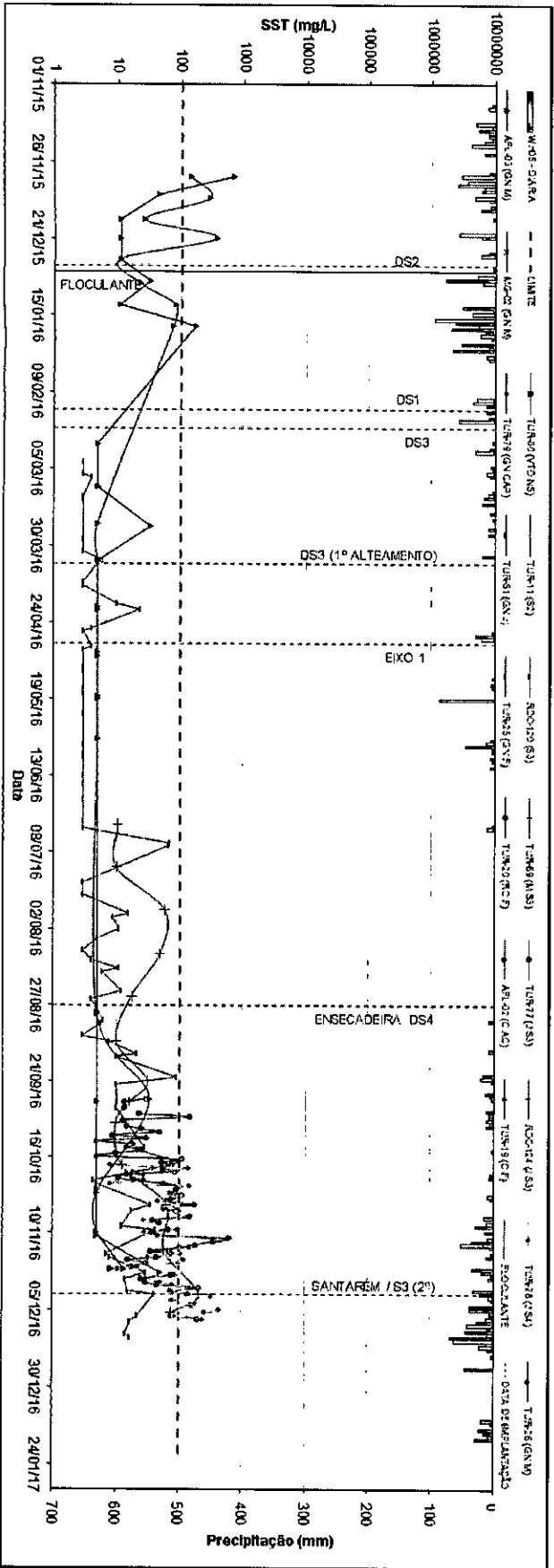
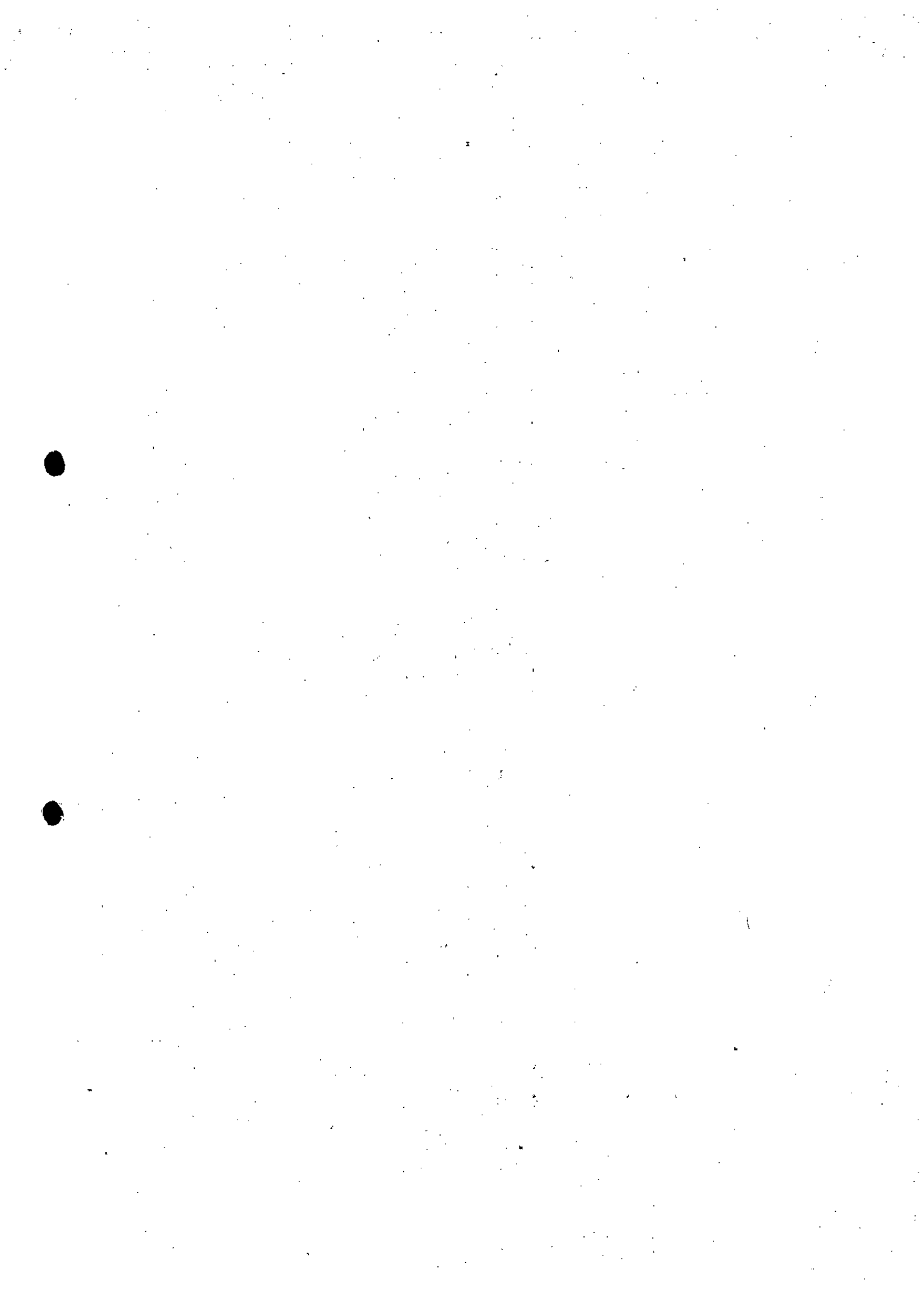


Figura 6.11 – Registros de sólidos suspensos dos pontos de monitoramento selecionados para avaliação da eficiência de retenção das estruturas implantadas pela SAMARCO.



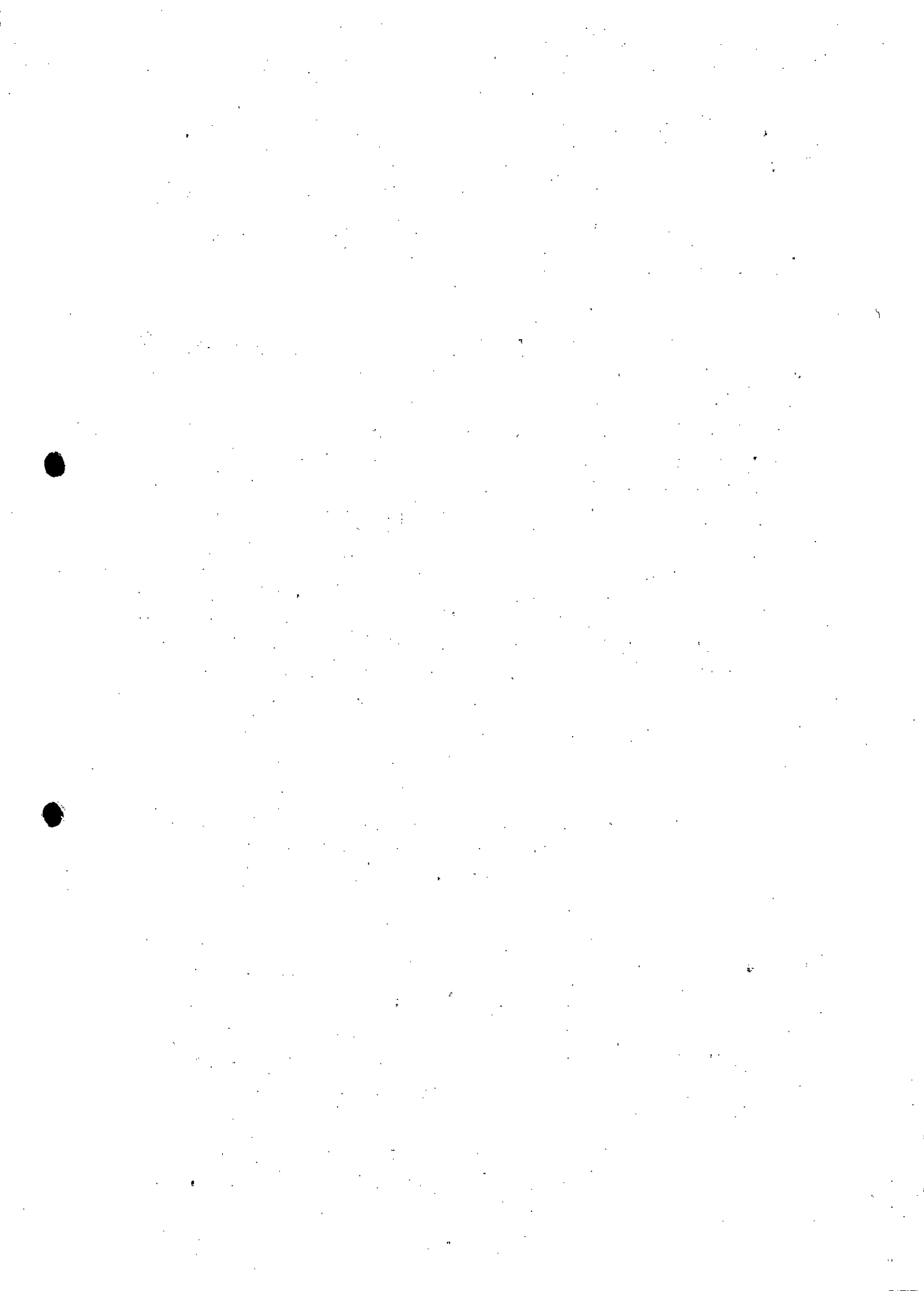
A fim de verificar a validade das análises laboratoriais realizadas pela SAMARCO, as Figuras 6.12 e 6.13 apresentam a comparação entre os registros de pontos monitorados pela equipe da empresa e aqueles obtidos pelas equipes de laboratórios acreditados. Tais pontos correspondem aos locais onde há concomitância de amostragem, nos limites da área de interesse para este trabalho. Porém, vale ressaltar que também foi realizada análise semelhante para outros pontos fora da área de abrangência direta dos estudos, cujos resultados também indicaram semelhança de resultados.

Conforme se pode notar pela análise das figuras supracitadas, nas datas em que houve levantamento simultâneo das equipes de campo, os valores dos parâmetros calculados são bastante semelhantes entre si. Desta forma, pode-se concluir pela validade dos dados obtidos por meio da rede de monitoramento da SAMARCO.

Outra análise importante é apresentada nas Figuras 6.14 e 6.15, que ilustram de forma separada os registros de turbidez dos pontos de monitoramento dos cursos de água influenciados e não influenciados pela onda de ruptura da Barragem do Fundão, respectivamente. A análise das referidas figuras mostra que em ambos os casos ocorre vários eventos de violação do limite de turbidez para cursos de água Classe 2, embora esse fato tenha se mostrado mais evidente nos cursos de água impactados pela onda de ruptura, principalmente no período que se estende entre dezembro de 2015 e junho de 2016.

Diante dos resultados obtidos foi realizada nova seleção de pontos de monitoramento com o objetivo primordial de mostrar a eficiência das ações e estruturas implantadas pela SAMARCO na contenção de eventuais vazamentos de rejeitos/lama do vale do Fundão. Essa eficiência foi mensurada pela análise dos parâmetros de qualidade das águas lançadas a jusante do Dique S3 (seção de referência dos estudos, ver Capítulo 2), em atendimento ao padrão de qualidade requerido pelos órgãos legais CONAMA e COPAM para cursos de água Classe 2, caso do córrego Santarém.

A Figura 6.16 mostra apenas os registros dos pontos de monitoramento de maior relevância (período de dados e posição no trecho) situados ao longo da calha do córrego Santarém. A Figura 6.17 mostra os registros de uma seleção ainda mais restrita desses pontos, incluindo um ponto de monitoramento situado fora da área impactada pela onda de ruptura da Barragem do Fundão, no intuito de comparar o comportamento de um curso de água natural no mesmo período de análise.



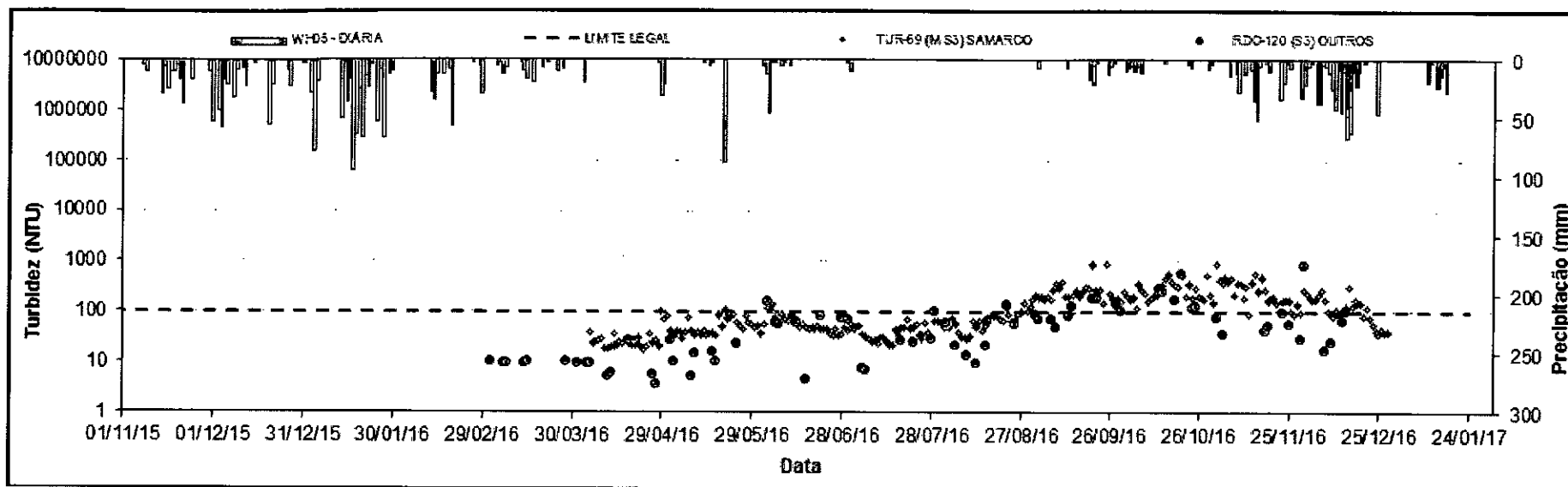


Figura 6.11 – Comparação entre os pontos de monitoramento do córrego Santarém cujas coletas de turbidez são realizadas pela SAMARCO e por laboratórios acreditados.

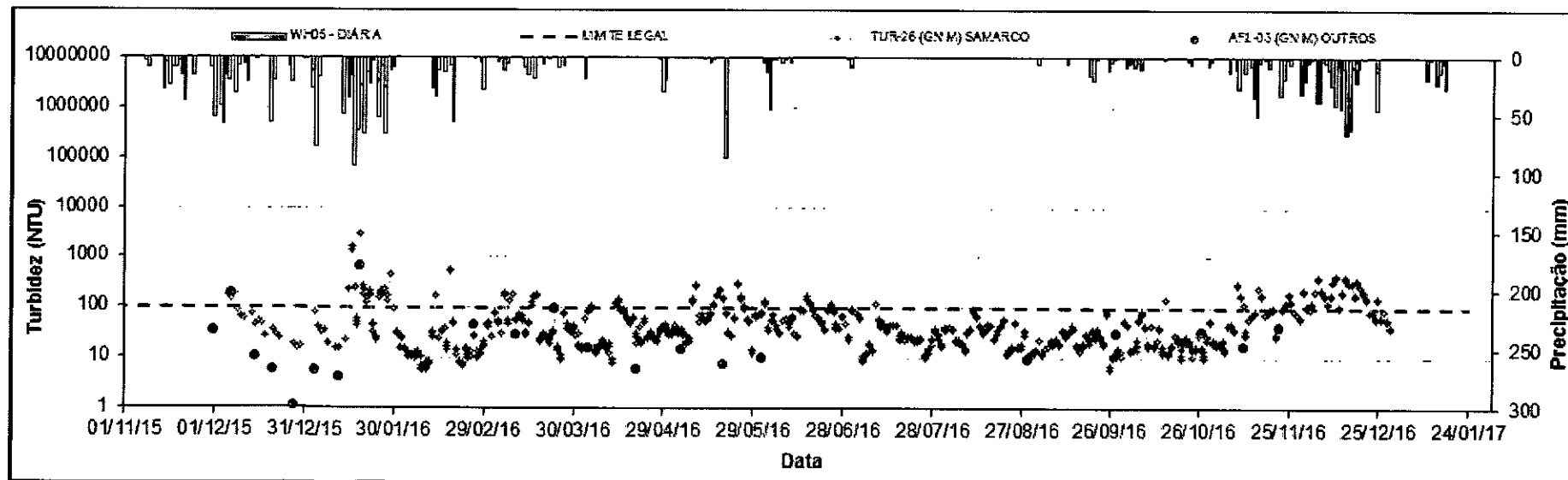
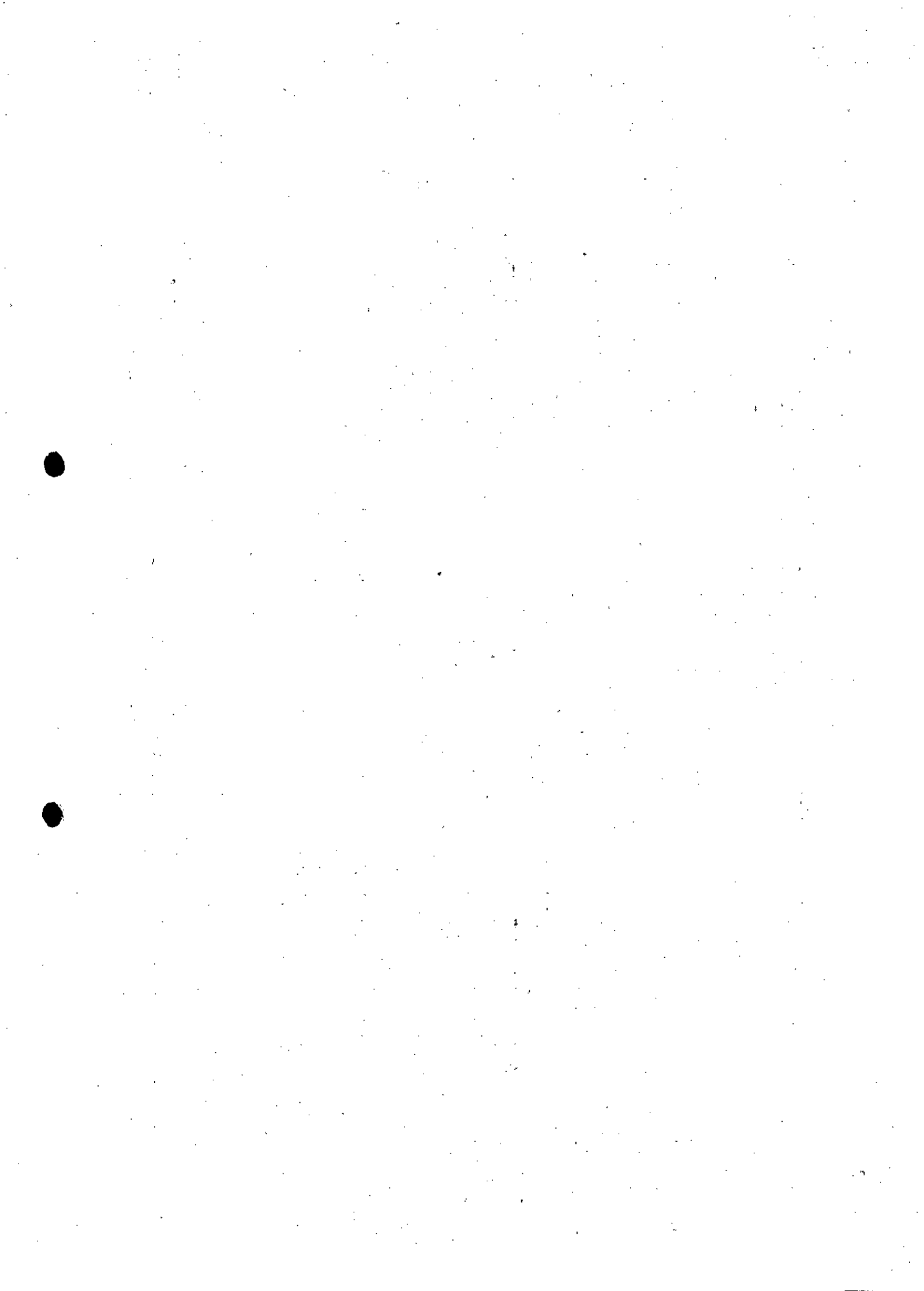


Figura 6.12 – Comparação entre os pontos de monitoramento do rio Gualaxo do Norte cujas coletas de turbidez são realizadas pela SAMARCO e por laboratórios acreditados.



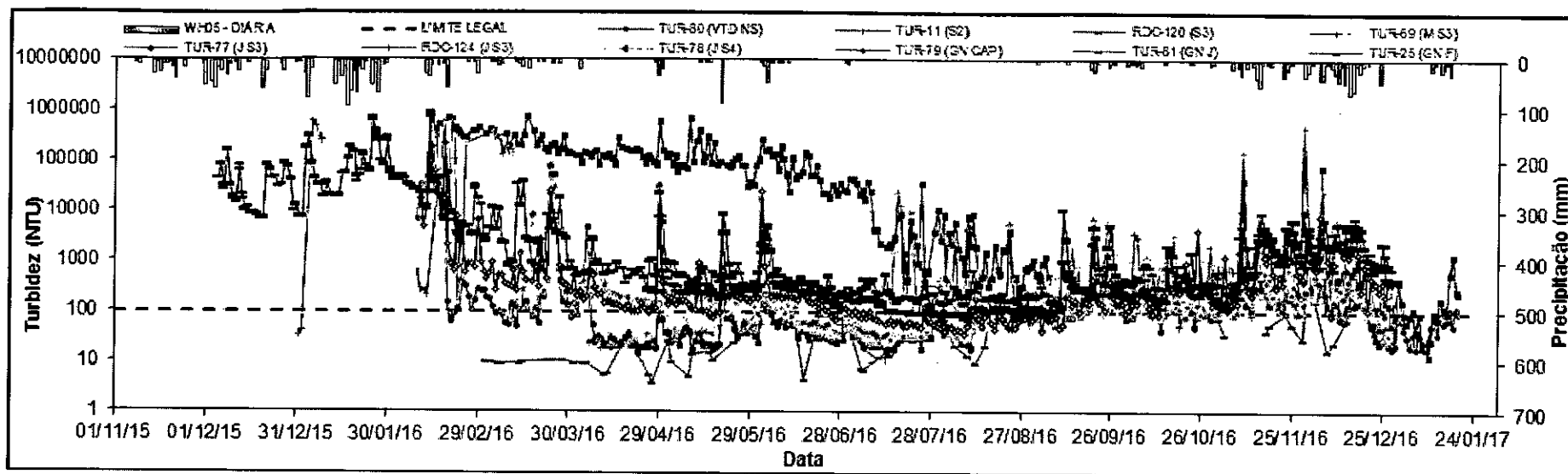


Figura 6.13 – Registros de monitoramento dos pontos localizados nos cursos de água influenciados pela onda de ruptura da Barragem de Fundão.

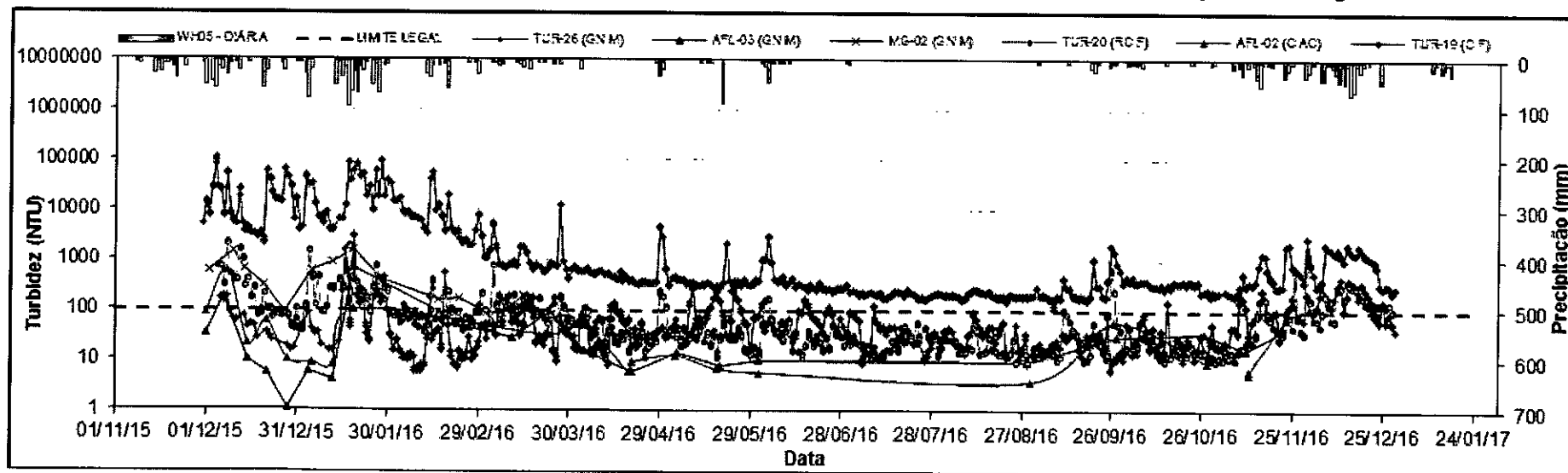
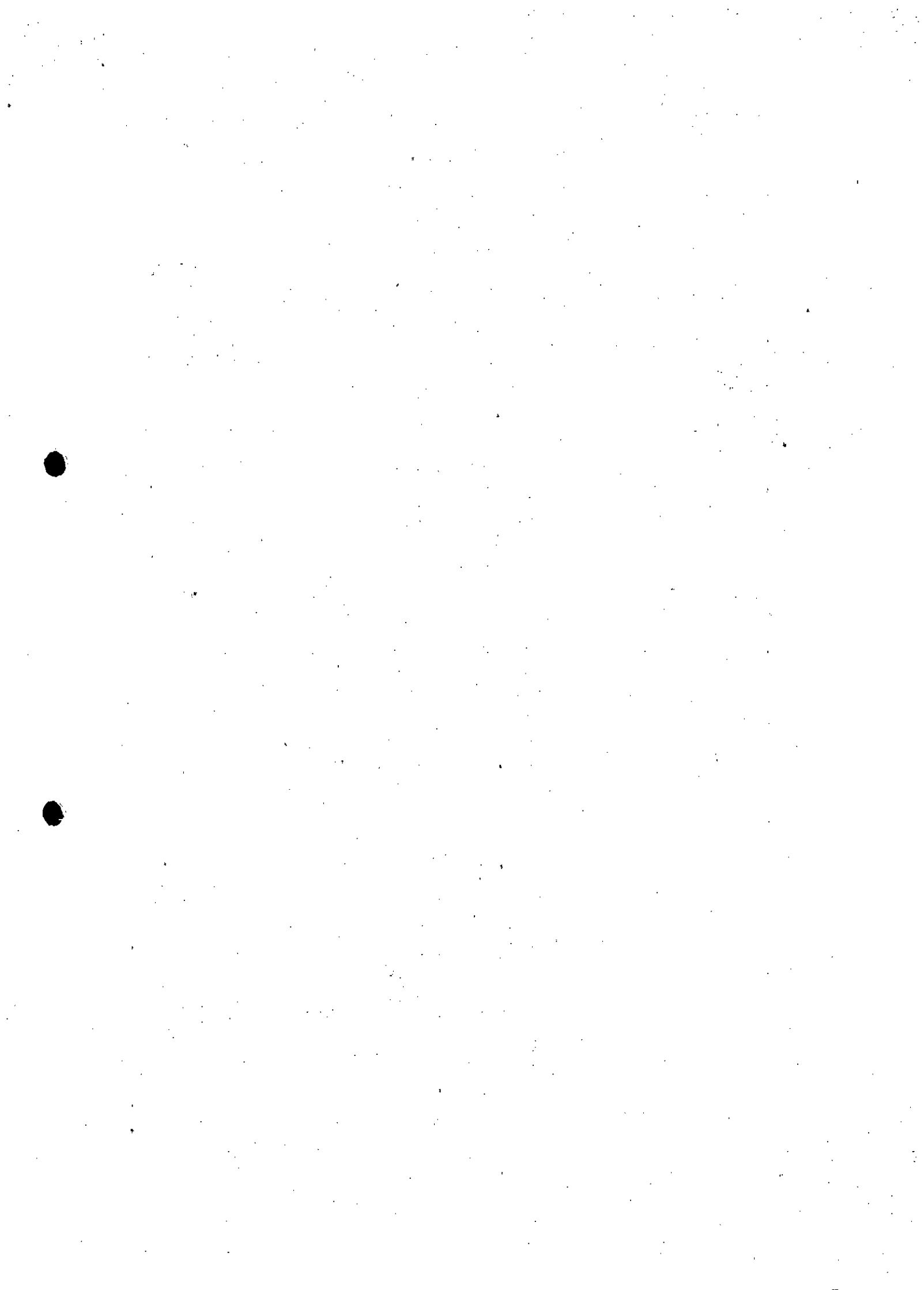


Figura 6.14 – Registros de monitoramento dos pontos localizados nos cursos de água não influenciados pela onda de ruptura da Barragem de Fundão.



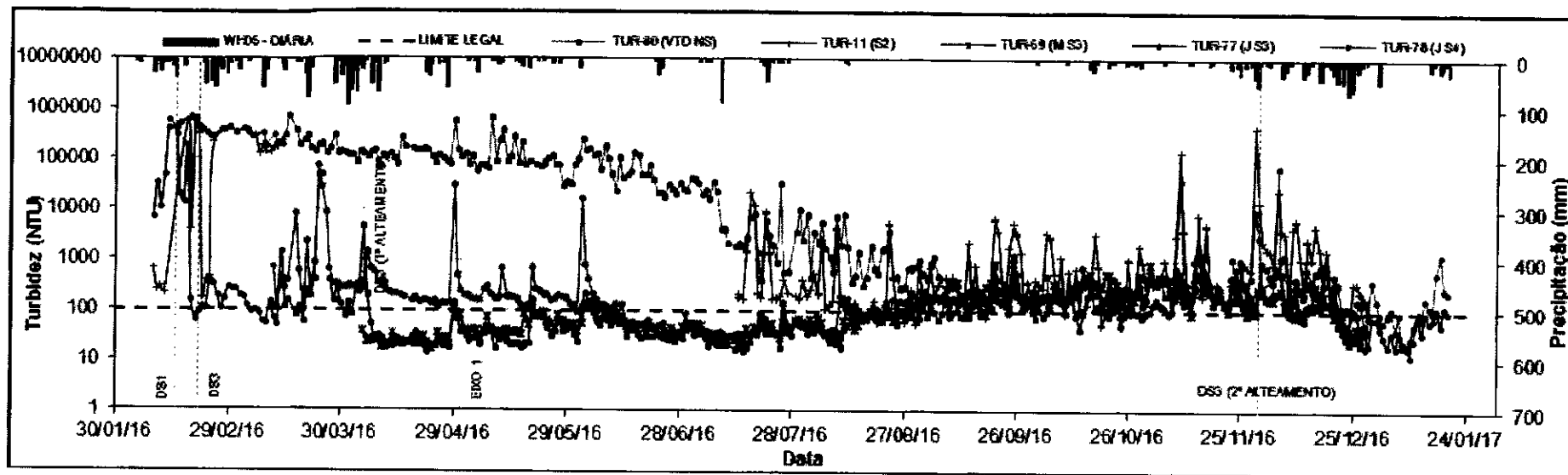


Figura 6.15 – Registros de monitoramento dos pontos de maior relevância localizados ao longo do córrego Santarém.

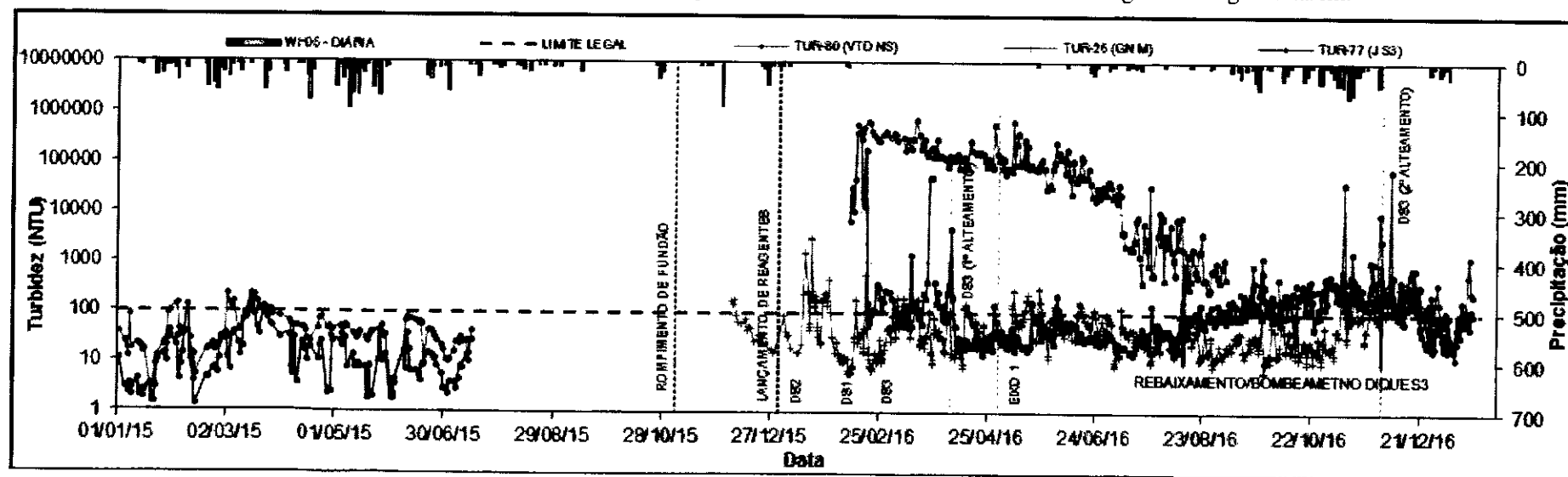
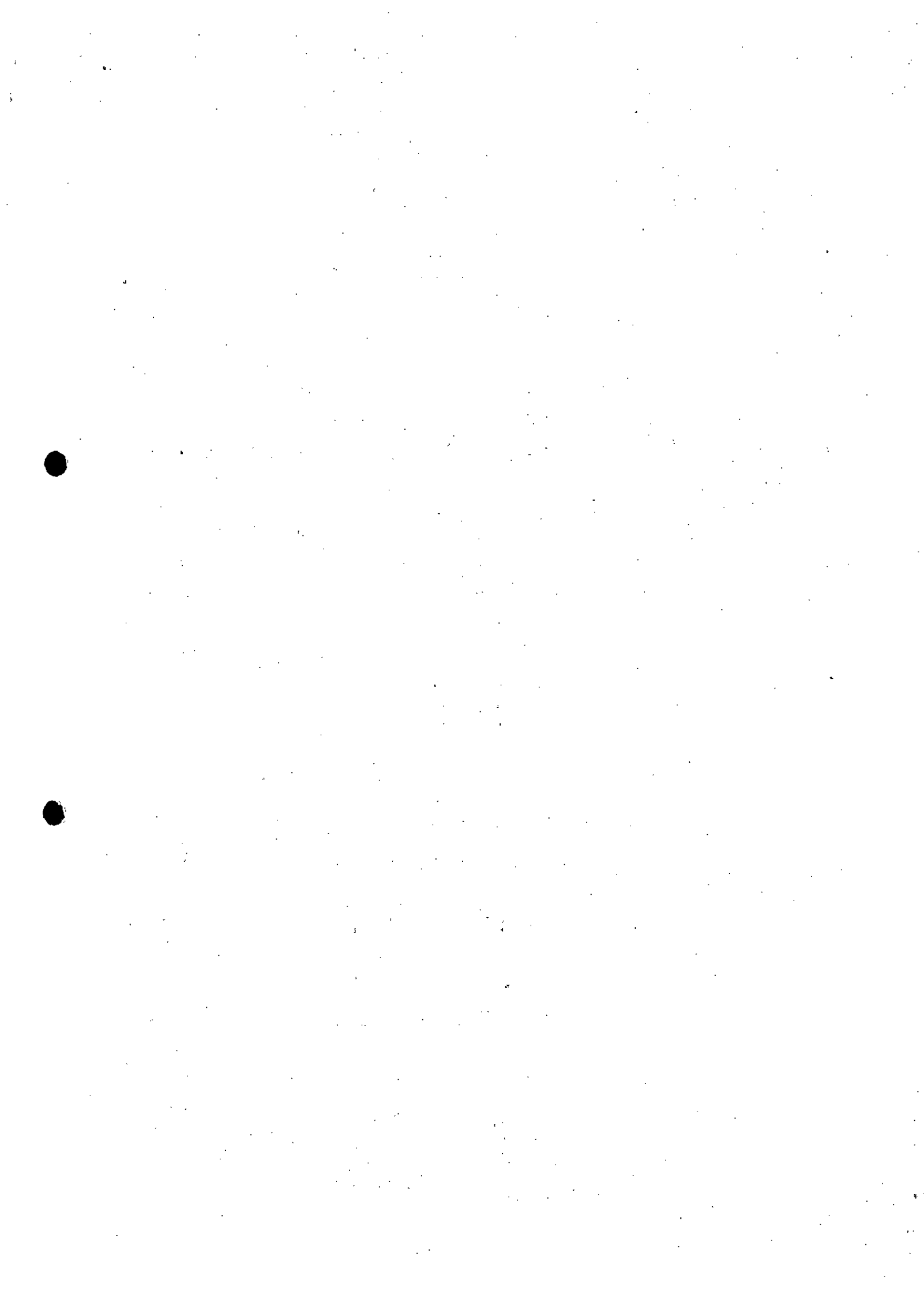


Figura 6.16 – Registros de monitoramento dos pontos chave para avaliação da eficiência de retenção no vale do córrego Santarém.



Analisando a Figura 6.16 pode-se notar que a maior parte dos registros obtidos nos pontos situados a jusante da Barragem Nova Santarém, na seção correspondente ao Dique S2 e a jusante do Dique S4, apresentam altos índices do parâmetro de turbidez. Entretanto os registros dos pontos situados a montante e jusante do Dique S3 (seção de controle do vazamento), com exceção de alguns períodos justificáveis, se mostram abaixo ou no limiar do índice de referência para cursos de água Classe 2.

Analisando com maior nível de detalhe tais informações, representadas na Figura 6.17, pode-se verificar que os efluentes da Barragem Nova Santarém, apresentavam índices abaixo ou iguais ao limite legal de turbidez requerido para cursos de água Classe 2. Entretanto, logo após o rompimento da Barragem de Fundão, esses índices se elevaram para valores acima de 100.000 NTU, mantendo-se nesse patamar de turbidez até meados de junho de 2016. A redução das chuvas (início do período seco) e provavelmente a também redução dos volumes de sedimentos escoados diretamente do vale do Fundão (ver Tabela 6.1) justificam a queda desses valores, que atualmente se encontram na faixa de 100 a 500 NTU.

Apesar de o lançamento de reagentes (polieletrólitos) ter se iniciado em janeiro de 2016, no extravasor da Barragem Nova Santarém, seu efeito não é sentido ainda na região do antigo Dique S2 (Figura 6.16), uma vez que não há neste trecho reservatório para promover a deposição das partículas coaguladas. Somente no interior e trecho de jusante do Dique S3 é possível observar esse efeito, uma vez que os índices de turbidez registrados nesses pontos se apresentaram abaixo do limite legal (Figuras 6.15 e 6.16).

A única exceção a essa regra ocorreu no período de 13/08/16 a 30/11/16, durante o qual o reservatório do Dique S3 teve que ser rebaixado para dar início às obras do segundo alteamento, além de ter passado por ações de remobilização do material depositado ao longo mesmo. Para permitir o rebaixamento de nível de água, foi feito um bombeamento da água contida no reservatório, a qual era lançada imediatamente a jusante do maciço e a montante do ponto de coleta para análise de turbidez. A água revolvida do reservatório e o início da dragagem ou reajuste interno do material depositado no mesmo promoveram alteração nos parâmetros de turbidez local, sendo restabelecidos para valores abaixo do valor legal logo no início de operação do novo maciço, em novembro de 2016.

Os registros de monitoramento na área do Dique S3, anteriores ao rompimento de Fundão indicavam valores sempre abaixo do limite legal, com valor médio da ordem de 20,0 NTU. Considerando os



períodos em que o reservatório dessa estrutura, juntamente com a ação dos regentes baixou o índice de turbidez do córrego Santarém, os valores de turbidez atingiram a média de 50,0 NTU.

Observando apenas o comportamento do TUR-77, pode-se verificar o alto índice de eficiência da ação conjunta de lançamento de reagentes no vertedouro da Barragem Santarém e das etapas de implantação do Dique S3 (maciço de partida, 1º e 2º alteamentos). Logo após as datas de entrada em operação dessas intervenções observa-se queda abrupta nos índices de turbidez liberados a jusante.

6.2.2 Análise dos Registros Atuais de Monitoramento

No final de dezembro de 2016, conforme citado anteriormente, a SAMARCO intensificou a rede de monitoramento, incluindo a frequência das coletas e análises, a fim de constituir uma base de dados suficiente para demonstrar que as estruturas implantadas no vale do córrego Santarém, vêm cumprindo o papel de conter eventuais vazamentos de rejeitos/lama do vale do Fundão.

Os resultados de análise de turbidez e sólidos suspensos dessa rede, cujas informações e localização dos pontos foram indicadas no item 4.5 do Capítulo 4 (Figura 4.32), são ilustrados nas Figuras 6.17 e 6.18. Com base nos dados apresentados pode-se verificar que os índices de turbidez e sólidos suspensos monitorados a jusante da seção de controle do sistema considerado (Dique S3) estão abaixo dos limites legais indicados pela CONAMA 357/2005 e COPAM/CERH 01/2008. Dessa forma, fica evidente a eficiência das estruturas de contenção implantadas pela SAMARCO ao longo dos córregos do Fundão e Santarém.

Tais dados permitem verificar ainda que cursos de água não influenciados pelo evento de ruptura da Barragem de Fundão, como o rio do Carmo em Acaiaca (C01), apresentam comportamento para as variáveis monitoradas (turbidez e sólidos suspensos), igual ao medido no córrego Santarém, a jusante do Dique S3 (ST04). Também é possível constatar o impacto das chuvas no aumento desses parâmetros, uma vez que durante eventos dessa natureza partículas sólidas, provenientes do processo de erosão natural e/ou artificial da bacia são facilmente transportadas pelo escoamento e, no caso de reservatórios, revolvidas no interior do lago, podendo verter para o trecho de jusante.

Os gráficos constantes no ANEXO 02 mostram a variabilidade espacial dos índices de turbidez e sólidos suspensos no período monitorado, tanto para o córrego Santarém como para o rio Gualaxo do Norte. Tais valores são comparados com os índices mensurados no rio do Carmo em Acaiaca. A análise conjunta desses gráficos permite a observação mais detalhada das conclusões expostas neste item, bem como verificar a eficiência do sistema implantado pela SAMARCO para a manutenção



dos padrões legais de qualidade a jusante do Dique S3. Vale ressaltar, no entanto, que o ponto GN02 indica ainda valores elevados de turbidez e sólidos suspensos, tendo em vista que as coletas do mesmo são realizadas imediatamente a montante da confluência dos rios Gualaxo do Norte e Santarém, no trecho impactado pelo remanso da onda de ruptura da Barragem do Fundão. O efeito das chuvas nessa área ainda propicia o revolvimento e carreamento de material sólido para jusante.

É importante destacar que foi solicitada à Tommasi a realização de oito campanhas de coleta e análise de turbidez e sólidos suspensos e pelo menos uma campanha de coleta e análise de material de fundo em todos os pontos dessa rede complementar. Tais campanhas deveriam ser realizadas em conjunto com a SAMARCO, de forma a dar maior credibilidade aos dados obtidos pela empresa.

Entretanto, por questões que fogem à vertente técnica do assunto, foi possível somente a realização de três campanhas sequenciais, feitas entre os dias 25 e 27/01/2017. Os resultados comparativos dessas campanhas, ilustrados na Figura 6.19, indicaram que os valores obtidos pela SAMARCO são sempre superiores aos analisados pela Tommasi. Tal diferença está provavelmente associada ao tempo de transporte das amostras ao laboratório, uma vez que as análises realizadas *in loco* mostram valores bastante semelhantes. De qualquer forma, como os valores obtidos pela SAMARCO são sempre maiores, permanece um limite de contorno superior e favorável às análises processadas e apresentadas neste documento.

6.2.3 Comentários Gerais sobre a Análise da Eficiência de Retenção por meio de Parâmetros de Qualidade

A correlação entre turbidez e sólidos suspensos, embora implícita pela própria definição das duas características físicas, pode manifestar-se de forma descontínua. No monitoramento diário realizado pela SAMARCO no rio Gualaxo do Norte, logo a jusante da confluência com o córrego Santarém (referente ao período de 10/11/2016 a 04/12/2016), o coeficiente de determinação (R^2) para regressão linear entre a concentração sólidos suspensos e a turbidez superou 0,81, para concentração média de 32 registros de turbidez de 2.295 mg/L.

Avaliação mais abrangente, contemplando 18 anos de dados de monitoramento (1980 a 1997) do curso de água que abastece Vitória e Cariacica/ES, apontou coeficientes de determinação variando de 0,40 a 0,89, com o modelo de regressão linear apresentando-se como o mais significativo para explicar a variância entre os dois parâmetros. Tal correlação mostrou-se ainda mais significativa para os dias chuvosos e concentração mais elevada de sólidos suspensos. Sob o último prisma, concentrações de 70 a 285 mg/L culminaram com coeficientes de determinação superiores a 0,97 (PICCOLO *et al*, 1999).



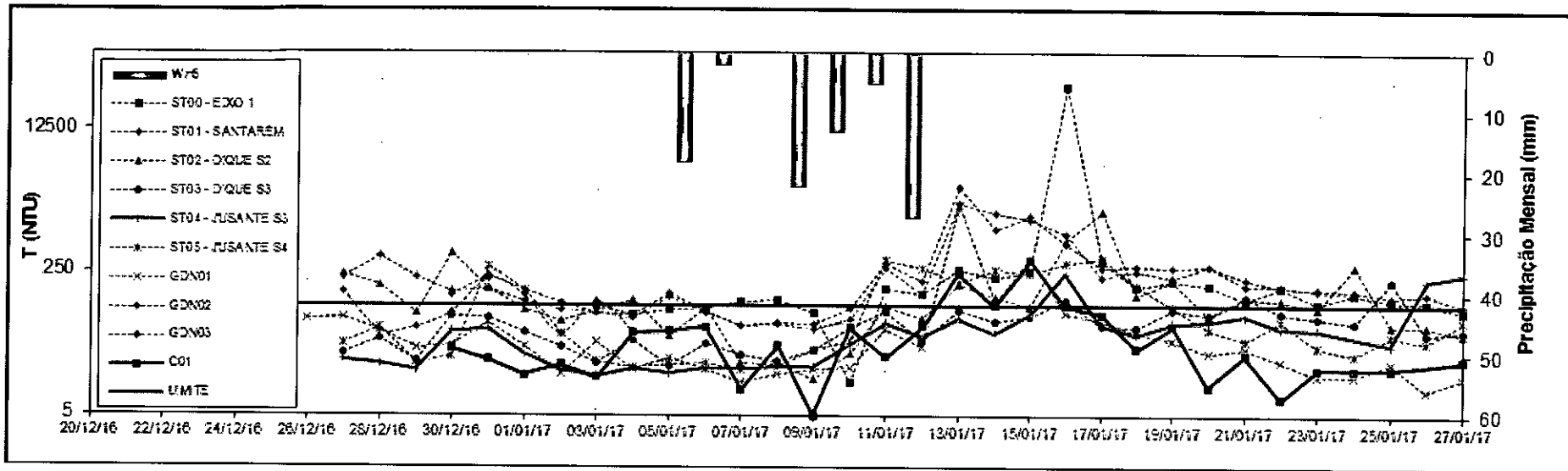


Figura 6.17 – Resultados do monitoramento do parâmetro de turbidez na rede complementar da SAMARCO.

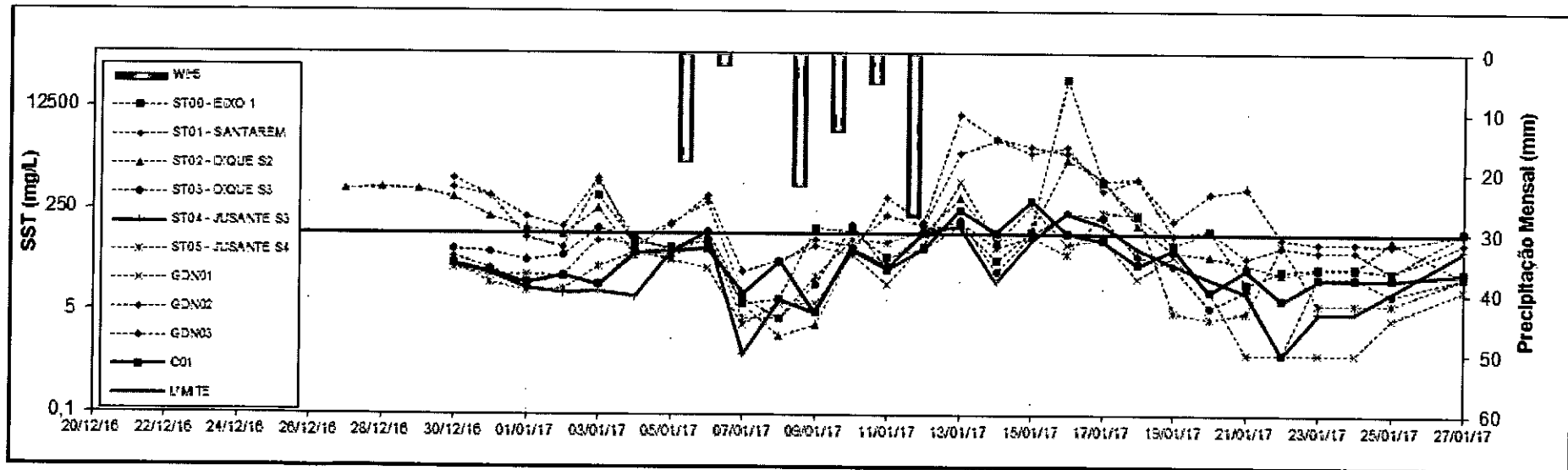
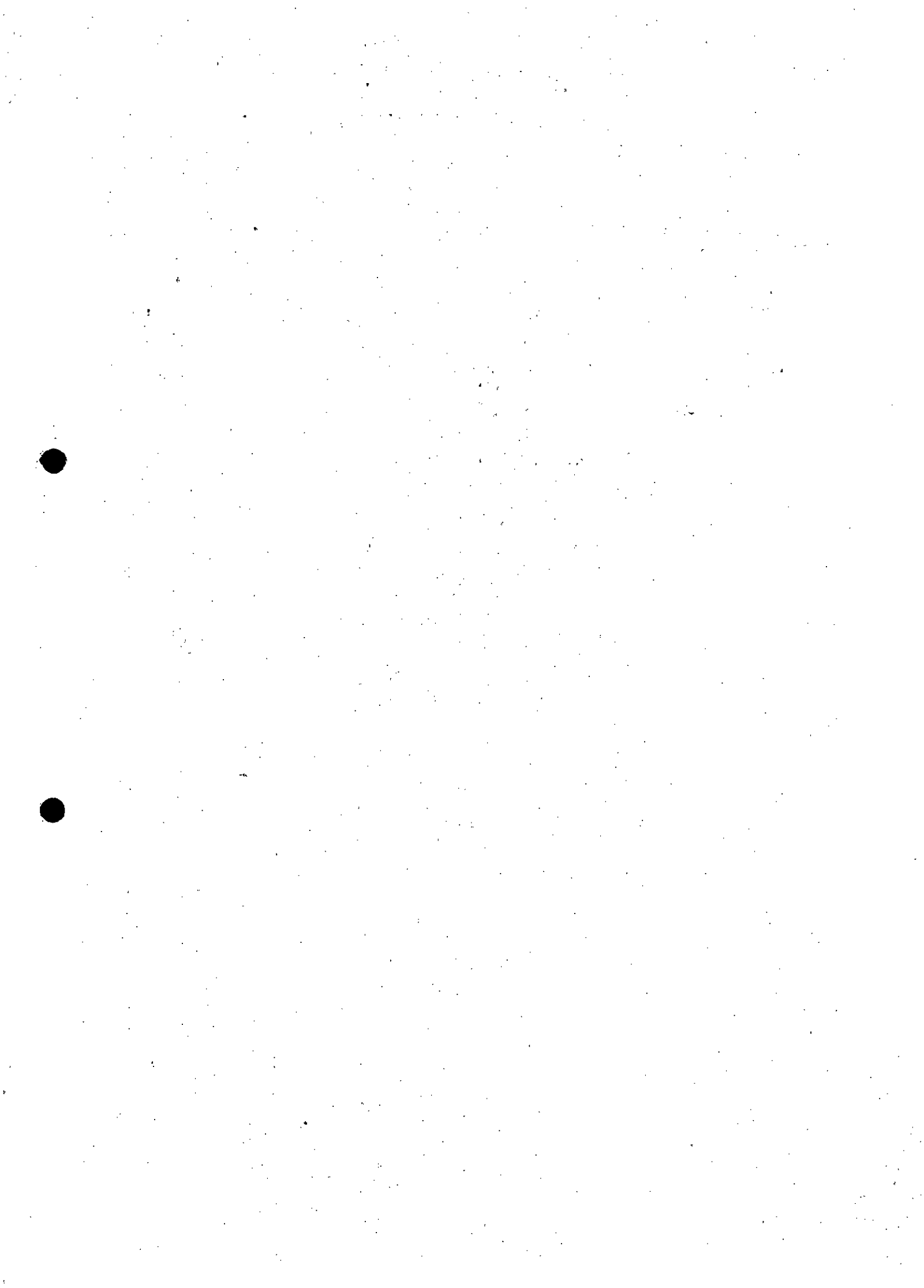
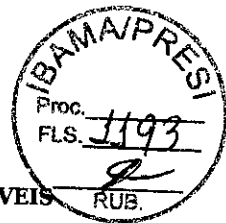


Figura 6.18 – Resultados do monitoramento do parâmetro sólidos suspensos na rede complementar da SAMARCO.





MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
Gabinete da Presidência



DESP. ENC. ABERT. 02001.000503/2017-57 GABINETE DA PRESIDÊNCIA/IBAMA

Brasília, 17 de abril de 2017

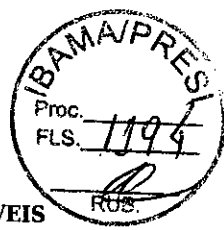
Ao Arquivo Setorial da GABIN/SETORIAL

Solicitamos o encerramento e abertura de volume do processo nº 02001.004139/2016-13. Após o encerramento e abertura do volume tramite o processo para o Gabinete da Presidência.

Atenciosamente,

RUBENS BATISTA DOS SANTOS
Técnico Administrativo da GABINETE DA PRESIDÊNCIA/IBAMA

EM BRANCO



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
Unidade Setorial do Gabinete da Presidência - DF

TERMO DE ENCERRAMENTO DE VOLUME

Aos 17 dias do mês de abril de 2017, procedemos ao encerramento deste volume nº VII do processo de nº 02001.004139/2016-13, contendo 200 folhas. Abrindo-se em seguida o volume nº VIII. Assim sendo subscrevo e assino.

RUBENS BATISTA DOS SANTOS
Técnico Administrativo do(a) GABIN/SETORIAL/IBAMA

