

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

MONIQUE KIM

ESTUDO DA VARIABILIDADE DE TURBIDEZ NO TRECHO SUPERIOR NO RIO
GUANDU

RIO DE JANEIRO

2011

MONIQUE KIM

**ESTUDO DA VARIABILIDADE DE TURBIDEZ NO TRECHO SUPERIOR NO
RIO GUANDU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Susana Beatriz Vinzon

Co-orientador: Marcos Nicolas Gallo

Rio de Janeiro

2011

**ESTUDO DA VARIABILIDADE DE TURBIDEZ NO TRECHO SUPERIOR NO
RIO GUANDU**

Monique Kim

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO
DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

Examinada por:

Prof. Susana Beatriz Vinzon

Prof. Marcos Nicolas Gallo

Prof. José Paulo Soares de Azevedo

Kim, Monique

Estudo da variabilidade de turbidez no trecho superior no rio Guandu – Rio de Janeiro UFRJ/ Escola Politécnica, 2011.

X, 77f. : il. ; 31 cm.

Orientadores: Susana Beatriz Vinzon e Marcos Nicolas Gallo

Projeto final de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, 2011.

1. Índices de Turbidez. 2. Rio Guandu. 3. Modelagem hidráulica por HEC-RAS – Monografia. I. Vinzon, Susana Beatriz, Gallo, Marcos. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. III. ESTUDO DA VARIABILIDADE DE TURBIDEZ NO TRECHO SUPERIOR NO RIO GUANDU.

AUTORIZAÇÃO

Monique Kim, DRE 104025980, AUTORIZO a Escola Politécnica da UFRJ a divulgar total ou parcialmente o presente Trabalho de Conclusão de Curso através de meios eletrônicos e em consonância com a orientação geral do SiBl.

Rio de Janeiro, 5 de setembro de 2011.

Monique Kim

Dedico este trabalho aos familiares e amigos que sempre me apoiaram e incentivaram a seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pela força e persistência dada durante todo o período da minha graduação.

Aos meus pais, que acreditam que a educação é a chave de uma sociedade melhor e mais justa e às minhas irmãs Kamila e Jaqueline pelos incentivos e carinho.

Aos meus orientadores Susana Vinzon e Marcos Gallo, que por mim muito fizeram, investiram na minha capacidade e acreditaram no meu potencial. Sempre.

À UFRJ pela minha formação acadêmica e pelas oportunidades que me levaram a estudar no exterior.

Ao meu companheiro, Pedro Henrique, sempre ao meu lado, dando todo o suporte que uma pessoa pode ter.

Aos meus amigos que tornaram a faculdade um lugar mais divertido, principalmente aos queridos amigos Camila, Phill, Caxa, Marcelo, Mauro, Atleta, Pati, Julio, Jamf, Bomba.

Aos amigos Ripas, que também participaram da minha formação profissional e pessoal e a amiga Ciça, muito querida.

Aos professores ilustres que me apoiaram, me ajudaram e aconselharam sempre de forma altruísta e sincera, durante a minha trajetória na faculdade.

EPÍGRAFE

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

KIM, Monique. **Estudo da variabilidade de turbidez no trecho superior do Rio Guandu**. Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

O Rio Guandu, principal corpo d'água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, sofre com constantes alterações antrópicas que causam elevados distúrbios na turbidez das águas e altos custos para o tratamento de forma que possibilite o seu uso e consumo por humanos. As variações da turbidez levantadas em questão são o cerne do estudo. Como possíveis causas, existem areais instalados nas margens do rio que exploram a areia, material indispensável para a construção civil, e também a recepção de águas de rios poluídos na região da Baixada Fluminense e a transposição do rio Paraíba do Sul com seu aporte de sedimentos. Existem conseqüências para o tratamento dessa água pela concessionária Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) na Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu que também serão vistas no trabalho. Foi utilizado o programa de modelagem hidráulica HEC-RAS no auxílio do estudo de dados limnimétricos e sedimentológicos e obtenção de simulações de regime de vazões e de turbidez do Rio Guandu, obtendo resultados qualitativos.

Palavras-chave: Guandu. Turbidez. Rio Guandu. HEC-RAS. Variabilidade de turbidez.

ABSTRACT

KIM, Monique. Studies on the variation of turbidity on the superior part of the Guandu River. Rio de Janeiro, 2011. Dissertation (Graduation in Civil Engineering) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

The Guandu River, the main water source that supplies water to the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, suffers from constant anthropogenic disturbances that cause high turbidity and high costs for the treatment that enable their use and consumption by humans. Variations of turbidity are the core of the study, as well as possible causes due to the sand exploration that occupies the banks along the river, indispensable material for civil construction, and also receiving polluted waters from the region of Baixada Fluminense and the transposition of the Paraíba do Sul river, that brings within a load of sediments, in addition to consequences for the treatment of water by the concessionaire Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) in its water treatment plant (ETA) Guandu. The hydraulics simulation program HEC-RAS was used to assist the study of limnometric and sedimentological data and obtaining simulations of flow regimes and turbidity of the Guandu River to obtain qualitative results.

Keywords: Guandu. Turbidity. Guandu River. HEC-RAS. Variation of turbidity.

SUMÁRIO

1	Introdução	2
1.1	Sobre o trabalho	2
1.2	Objetivo.....	3
2	Histórico.....	4
2.1	Monitoramento do Rio Guandu.....	7
3	Característica física em estudo: Turbidez	9
3.1	Causas da Turbidez	10
3.2	Conseqüências da Turbidez.....	11
4	Estação de Tratamento de Água GUANDU.....	13
5	Riscos	16
5.1	Confluência de rios poluídos.....	17
5.1.1	Rio Paraíba do Sul.....	17
5.1.2	Rio Poços/Queimados	18
5.1.3	Rio Cabuçu/Ipiranga	19
5.2	Areais	19
5.2.1	Consequências dos areais	21
5.3	Consequências ao rio Guandu e seu futuro como fonte de abastecimento.....	22
6	Metodologia	23
6.1	O programa HEC-RAS.....	23
6.2	Transporte de sedimentos.....	25
6.2.1	Ackers-White	25
6.2.2	England (Engelund)-Hansen	26
6.2.3	Meyer Peter Mullen.....	26
6.3	Dados aplicados	26
7	Resultados da modelagem por HEC RAS River Analysis	30
7.1	Resultados da modelagem para vazões constantes.....	30
7.2	Resultados da modelagem para vazões variáveis.....	31
7.2.1	Resultados para Turbidez	33
8	Conclusão.....	48
8.1	Medidas paliativas e mitigadoras	48

9 Bibliografia	51
10 Anexos.....	53
10.1 Tabelas	53

1 Introdução

1.1 Sobre o trabalho

Este trabalho se dedicará de forma simplificada a um estudo apoiado em uma revisão bibliográfica de uma série de artigos relacionados às variações de índice de turbidez do rio Guandu e as conseqüências envolvidas nos processos de impactos ambientais que acarretam um maior custo no tratamento de suas águas para o consumo da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), quando chegam ao final do trecho superior do rio, onde está localizada a Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu da CEDAE.

Para uma melhor compreensão da questão de variabilidade dos níveis de turbidez no rio Guandu, será utilizado o programa HEC-RAS - *River Analysis System* (US Army Corps of Engineers, 2011) para a modelagem hidráulica de forma simplificada:

- para a hidrodinâmica: análise das vazões estacionárias, a fim de calibrar as propriedades geométricas do leito do rio, baseando se nos dados de batimetria anteriormente realizados. (Vinzon & Cassar, 1998) As vazões de escoamento quase permanente são utilizadas para a simulação das variações de turbidez.

- para a turbidez: análise qualitativa, de acordo com a curva de turbidez de sedimentos finos, fazendo um comparativo entre as concentrações medidas na CEDAE e os resultados obtidos da modelagem por HEC-RAS. São realizadas simulações para quatro casos, segundo as diferentes hipóteses pré definidas:

Caso 1 – Considerando que a variação de turbidez deve-se aos areais, ao utilizarem suas escavadeiras para retirar areia, e que por fim causam o revolvimento de fundo e aumento de sedimentos finos no corpo d'água;

Caso 2 – A operação da barragem da UHE de Pereira Passos em horários de pico de consumo de energia elétrica na RMRJ gera uma variação das vazões interferindo no revolvimento de fundo ao longo do trecho superior do rio e causando, conseqüentemente, o aumento da turbidez;

Caso 3 - A operação da barragem da UHE de Pereira Passos em horários de pico de consumo de energia elétrica na RMRJ, em conjunto com a transposição do rio Paraíba do Sul, gera uma transposição dos sedimentos ao longo do rio Guandu até sua chegada na captação de água pela ETA.

Caso 4 – A confluência do rio Guandu com os rios Poços/Queimados, rio Cabuçu/Ipiranga, rio Santana e rio São Pedro gera também a variação de turbidez encontrada na captação de água na ETA CEDAE.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem como um dos objetivos identificar a variação de turbidez, baseada nas hipóteses anteriormente citadas. Para isso, foram utilizados dados do relatório de Estudo Hidrossedimentológico do Rio Guandu (1), realizado para a Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA), em que foram analisadas fotografias aéreas, batimetrias preexistentes assim como batimetrias executadas e coletados dados fluviométricos e hidrossedimentológicos.

O segundo objetivo é o de analisar a dinâmica do transporte de sedimentos do rio Guandu na situação atual, focalizando o estudo nas possíveis consequências que traz o transporte de sedimentos às variações de turbidez simuladas. Para isso foi utilizado o programa de modelagem hidráulica HEC-RAS. Assim, este estudo visa detectar as variações no transporte de sedimentos numa pequena escala temporal. Em particular, interessa identificar as causas do aporte de sedimentos finos que chegam à ETA.

Um terceiro objetivo é estudar os riscos e consequências que o transporte de sedimentos acarreta à CEDAE, na estação de tratamento de águas (ETA), que abastece a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, compreendida pelos municípios de Duque de Caxias, Nilópolis, Nova Iguaçu, Queimados, Itaguaí, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti e Rio de Janeiro.

2 Histórico

O Rio Guandu se localiza no estado do Rio de Janeiro, e é considerado de grande importância para este estado, já que é responsável pelo suprimento de água para várias localidades e atividades industriais ao longo de seu curso, como também é o principal manancial de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro e de vários municípios da Baixada Fluminense. Dele são captados aproximadamente 42 m³/s pela CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE, 1996).

Suas nascentes localizam-se na serra do Mar, em diversos municípios. Alguns riachos se unem na represa de Ribeirão das Lajes, um dos formadores do rio Guandu, que é importante para a regulação da vazão e do nível da água do rio e que tem papel importante na economia local. Depois de passar pela represa, o ribeirão das Lajes recebe as águas do rio Paraíba do Sul através de transposição em Piraí pela estação elevatória de Santa Cecília e, depois de receber as águas do Rio Santana, passa finalmente a denominar-se rio Guandu.

O rio Guandu era um rio de pequeno porte, tornando-se um rio bastante caudaloso, do qual a maior parte da vazão é proveniente da transposição das águas da bacia do rio Paraíba do Sul, sendo assim considerado um rio artificial.

O sistema de transposição LIGHT/CEDAE - Ribeirão das Lajes/Guandu/Canal de São Francisco iniciou-se em 1962, com a conclusão da Usina Pereira Passos. O trecho em estudo começa após esta usina e termina na Estação de Tratamento de Água da CEDAE, com um comprimento de 40 quilômetros, aproximadamente. É o resultado da junção dos rios Sant'Anna e Lages, na cidade de Piraí, cerca de dois quilômetros acima de Paracambi.

Esta transposição teve primeiramente a função de produzir de energia elétrica pela empresa Light serviços de eletricidade e para uso industrial. Sua água abastece cerca de oitenta por cento da população do Grande Rio.

Depois disso, recebe águas dos poluídos rios de Queimados, como o Abel e os Poços/Queimados, e os córregos de Seropédica. No município de Nova Iguaçu, localiza-se a estação de tratamento de água do Guandu, considerada a maior do mundo. Depois da estação de tratamento, conhecido como trecho inferior do rio Guandu, recebe as águas do rio Guandu-Mirim e é dividido em vários canais na altura do bairro carioca de Santa Cruz, sendo o principal deles o canal de São Francisco, que serve à

importante zona industrial deste bairro, em que se encontram a COSIGUA (Companhia Siderúrgica da Guanabara) e a termelétrica de Santa Cruz, terminando por desaguar na baía de Sepetiba.

Atualmente, portanto, boa parte de sua água vem de outro importante manancial: o rio Paraíba do Sul. A transposição do rio Paraíba do Sul se deu principalmente por conta do aumento da demanda de energia elétrica que a RMRJ estava sofrendo no então Distrito Federal na década de 50.

Na usina hidrelétrica da Light, a jusante de Santa Cecília, é feita a transposição da água, quando o Paraíba do Sul cede cerca de sessenta por cento de sua vazão nesta seção para o Guandu através das canalizações forçadas das usinas. O sistema foi construído em 1952 podendo acrescentar até 180 metros cúbicos de água ao que irá se transformar mais à frente no Rio Guandu. As águas desta transposição encontram as águas do rio Ribeirão das Lages e descem para formar o Guandu e abastecer o Rio de Janeiro.

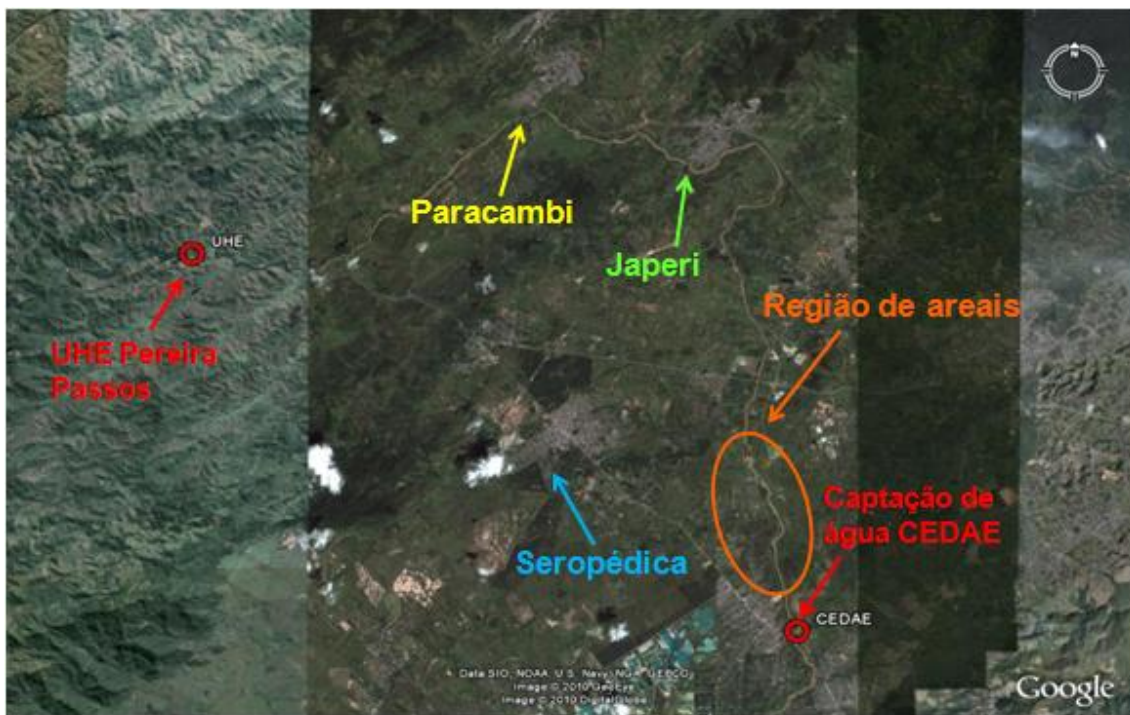


Figura 1: Trecho superior do Rio Guandu. Fonte: Google Maps 2010.

O rio Guandu, por receber águas de outros rios e por causa de areais na sua bacia, acaba apresentando níveis de turbidez devido ao transporte de sedimentos em suspensão, afetando a captação de água na Estação de Tratamento, exigindo maiores

custos para o tratamento da água. Dentro dos balanços anuais da CEDAE, percebe-se que o custo de tratamento de água é um dos maiores do orçamento. Observando-se registros de turbidez na ETA-CEDAE, verificam-se variações tanto sazonais, com valores máximos de 350 UT, quanto diárias. Esta variabilidade na turbidez da água captada representa uma dificuldade para o próprio processo de tratamento.

Uma das principais fontes de sedimentos finos no rio Guandu estaria associada basicamente ao rio Paraíba do Sul como decorrência de sua transposição de águas, a partir do momento em que estas águas chegam ao sistema Guandu carregadas de sedimentos através da abertura da barragem da Usina Hidrelétrica de Pereira Passos, da LIGHT. Outra possível fonte é a ressuspensão dos sedimentos presentes na calha do rio, devido às condições naturais ou às operações de dragagem para a exploração comercial de areia como há décadas vem ocorrendo no leito e nas margens do rio Guandu.

As variações temporais na concentração de sedimentos, medidas através da turbidez da água, podem ser associadas às fontes de sedimento, sendo a transposição das águas do rio Paraíba do Sul relacionada principalmente à variação sazonal. Por outro lado, as vazões turbinadas variam diariamente entre 150 e 300 m³/s, devido ao regime de operação da Usina de Pereira Passos.

A usina, que foi construída de acordo com os padrões mais modernos e eficientes da engenharia hidrelétrica, gera ao longo do dia importantes variações de vazão, podendo até triplicar nas horas de maior demanda energética. Este fato estaria relacionado às variações diárias de turbidez, uma vez que a capacidade de transporte de sedimentos do rio Guandu seria muito maior que a existente em suas condições naturais. Porém, a extração de areia pode também ser associada às variações diárias de turbidez observadas.

A ocupação urbana da bacia do rio Guandu, refletida pela tendência natural de expansão da Região Metropolitana para a Baixada Fluminense e Zona Oeste e seu investimento insuficiente no tratamento de esgoto contribuem significativamente para a poluição do rio e seus afluentes, traduzidos, principalmente, pelos altos teores de coliformes fecais (termotolerantes) encontrados.

Grande parte dos municípios compreendidos na bacia do rio Guandu, não conta com serviços de coleta de resíduos sólidos, observando-se, também, baixos índices de atendimento de coleta de lixo urbano. Mais precária ainda é a situação de disposição final desses resíduos, sendo comum o lançamento em lixões localizados, em grande

parte, às margens dos rios da bacia e em encostas, e próximos a aglomerações urbanas, resultando em uma grave degradação ambiental.

Cabe apontar, ainda, o Distrito Industrial de Nova Iguaçu, localizado a 7 km a montante da captação da ETA Guandu, e o rio Queimados, seu corpo receptor, cuja desembocadura encontra-se próxima da tomada d'água. Vale ressaltar, também, que as sub-bacias dos rios Queimados, Poços, Ipiranga, Cabuçu e Sarapuí influenciam, em ordem decrescente, a captação da CEDAE.

2.1 Monitoramento do Rio Guandu

Existe uma vulnerabilidade do sistema ETA-Guandu, e a necessidade de vigilância constante sobre a qualidade de suas águas, que atue como um sistema de detecção tanto para os lançamentos contínuos, provenientes de atividades poluidoras, quanto para ocorrências episódicas decorrentes de poluição por acidentes nas rodovias e ferrovias que margeiam o rio.

O monitoramento da bacia do rio Guandu é feito pelo INEA em 10 estações de amostragem, mensalmente, com o objetivo de acompanhar os principais indicadores físico-químicos de qualidade de água, bem como a comunidade fitoplanctônica quanto à composição quantitativa e qualitativa e biotestes qualitativos para avaliar a possível toxicidade de cianobactérias e de sedimentos. Há também um monitoramento automático, realizado a montante da captação da ETA Guandu, em que são analisados os parâmetros OD, pH, Temperatura, Condutividade e TOC (carbono orgânico total). A automatização do monitoramento é de fundamental importância, pois permite uma avaliação contínua da qualidade da água, detectando alterações instantâneas e possibilitando agilizar as providências necessárias à solução de problemas.

Segundo a Resolução 357/05 do CONAMA, o Sistema Guandu está enquadrado na Classe 2, pois seus corpos hídricos são destinados ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional. Todos os pontos apresentaram pelo menos um dos parâmetros monitorados em desacordo com os padrões estabelecidos para esta Classe. Os valores de OD variaram de 1,1 a 7,0 mg/L. Os resultados de nitrato (10 mg N/L), amônia ($> 0,02$ mg/L), pH (entre 6 e 9) e turbidez (até 100 UNT) estiveram de acordo com a legislação em todos os pontos analisados. A cor foi maior que 75 mg Pt/l e o ferro maior que 0,3 mg/L, estando estes valores acima do permitido. O índice de coliformes fecais variou entre 3700 e 92450 UFC / 100mL, ou seja, todos os pontos apresentaram uma

quantidade de coliformes acima do estabelecido pelo CONAMA (1000 UFC/100mL).

Através do monitoramento foi possível notar que vem ocorrendo um processo de degradação nos corpos hídricos que compõem o Sistema Guandu em função de atividades humanas como lançamento de efluentes domésticos e industriais e lixo nas margens dos rios, aumentando a quantidade de matéria orgânica nos mananciais. A situação se torna ainda mais alarmante no Rio dos Poços, que apresentou o menor valor de OD e a maior quantidade de coliformes fecais. Esses resultados são fortes indícios de que esse rio tornou-se praticamente anaeróbico, já que a quantidade de oxigênio dissolvido na água é próxima a zero. Esta situação pode ser confirmada pelo alto índice de coliformes fecais indicando que a poluição desse Rio pelo lançamento de esgoto não tratado é consideravelmente elevada.

Em decorrência da situação, o monitoramento do Rio Guandu e de seus afluentes, feito anualmente, é de extrema importância e tem como finalidade melhorar a qualidade dos serviços da ETA Guandu prestados à população do Estado do Rio de Janeiro, na medida em que água e saúde estão diretamente vinculados.

3 Característica física em estudo: Turbidez

A característica que será mais abordada neste trabalho é a turbidez. Para isso, é necessário compreendê-la, estudando seu conceito e o que ela traz de conseqüências para um corpo d'água como o rio Guandu.

A turbidez nada mais é do que uma característica física da água, decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, sólidos suspensos, finamente divididos ou em estado coloidal, e de organismos microscópicos. É a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma(2).

Pode ser também definida como uma medida da redução de transparência. Em meteorologia indica qualquer condição da atmosfera que resulte na redução de sua transparência à luz, excluindo-se a presença de nuvens. (NBR 9896/1993).

O tamanho das partículas em suspensão varia desde grosseiro ao colóide, dependendo do grau de turbulência. A presença destas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, deixando a água com aparência turva, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa à saúde.

A determinação da turbidez é fundamentada no método de Jackson, que determina até que profundidade pode ser vista a imagem, chamada de “imagem de vela”, através da água colocada em um tubo de vidro. Este valor é limitado entre 25 e 1000 Unidades Jackson de Turbidez (UJT ou JTU na abreviação em inglês).

Uma turbidez de 1000 UJT equivale a uma profundidade de apenas 2,3 cm e a profundidade de 72,9 cm é equivalente a uma turbidez de 25 UJT.



Figura 2: Turbidímetro. Extráido de (2)

A medição também pode ser feita com o *turbidímetro* ou *nefelômetro*, que compara o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra, com o de um feixe de igual intensidade, ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento, maior será a turbidez.

Estes aparelhos medem, numa célula fotoelétrica, a quantidade de luz dispersa através da amostra de água, a 90° da luz incidente. A escala de medição é calibrada com padrões conhecidos, geralmente preparados com solução

de formazina, e permite medir valores tão baixos como 0,1 UJT, com uma precisão de $\pm 10\%$. Não há, entretanto, uma relação direta entre a quantidade de luz dispersa a 90° e a que, como no tubo de Jackson, atravessa diretamente a amostra.

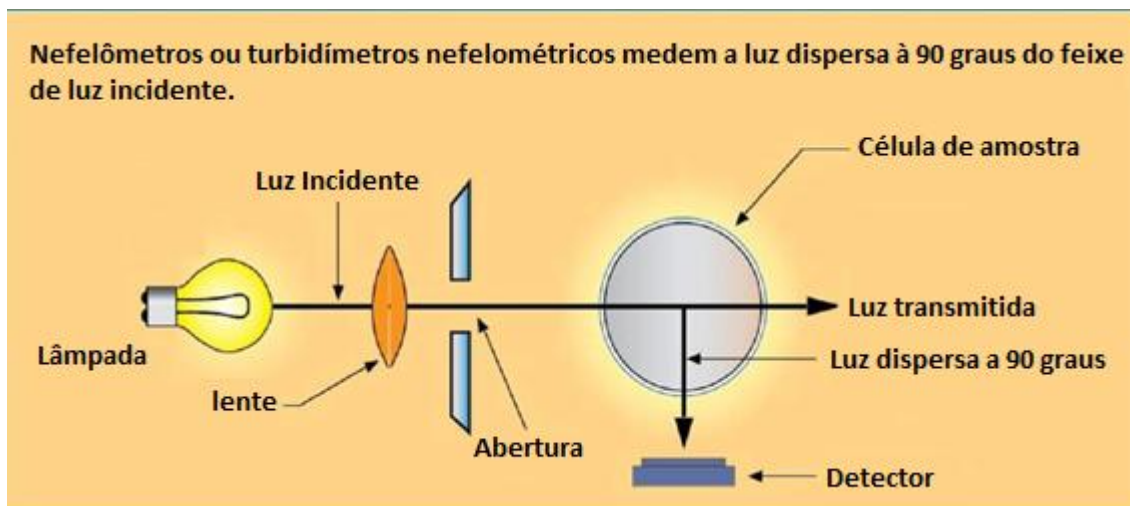


Figura 3: Esquema simplificado de funcionamento de um turbidímetro.

A *Cor da água* (>15 unidades de cor) e as partículas de carbono, interferem na medida da turbidez devido às suas propriedades de absorverem a luz. As amostras devem ser analisadas logo após a coleta (que deve ser feita em recipiente de vidro ou de PVC bem limpos), pois a turbidez pode mudar se a amostra for armazenada por um certo tempo.

A desinfecção da água, principalmente a inativação de vírus, é tanto mais eficaz quanto menor é a turbidez da água. Atualmente, está se exigindo água filtrada com turbidez menor que 1,0 UNT (unidade nefelométrica de turbidez), preferencialmente inferior a 0,2 UNT.

3.1 Causas da Turbidez

As principais causas da turbidez da água são: presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), matéria orgânica e inorgânica finamente divididas, organismos microscópicos e microalgas.

A origem desses materiais pode ser o solo (quando não há mata ciliar); a mineração (como a retirada de areia ou a exploração de argila); os afluentes das

indústrias; ou o esgoto doméstico, lançado no manancial sem tratamento. O exame microscópico e observações *in loco* do manancial podem ajudar a determinar as causas da turbidez. Esses materiais se apresentam em tamanhos diferentes, variando desde partículas maiores ($> 1 \mu\text{m}$), até as que permanecem em suspensão por muito tempo, como é o caso das partículas coloidais (diâm.= 10^{-4} a 10^{-6} cm).

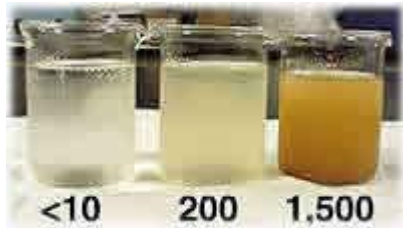


Figura 4: Amostras de diferentes níveis de turbidez em UNT. Extraído de (2) subterrâneas (3).

Há que se distinguir entre a matéria suspensa ou sedimento, que precipita rapidamente, daquela que se precipita vagarosamente e que provoca a turbidez. A turbidez é encontrada em quase todas as águas de superfície, em valores elevados (até 2.000 mg/l de SiO_2), mas está normalmente ausente nas águas

As águas de lagos, lagoas, açudes e represas apresentam, em geral, baixa turbidez, porém variável em função dos ventos e das ondas que, nos corpos d'água rasos, podem revolver os sedimentos do fundo. Após uma chuva forte, as águas dos mananciais de superfície ficam turvas, graças ao carreamento dos sedimentos das margens pela enxurrada. Assim, os solos argilosos e as águas em movimentação, ocasionam turbidez.

3.2 Conseqüências da Turbidez

A turbidez, além de reduzir a penetração da luz solar na coluna d'água, prejudicando a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas, pode comprometer a reprodução de peixes e invertebrados bênticos.

Os sedimentos em suspensão podem carrear nutrientes e pesticidas, obstruindo as guelras dos peixes, e até interferir na habilidade do peixe em se alimentar e se defender dos seus predadores. As partículas em suspensão localizadas próximo à superfície podem absorver calor adicional da luz solar, aumentando a temperatura da camada superficial da água.

A turbidez da água é uma conseqüência direta do arraste e deposição dos sedimentos no leito dos lagos e reservatórios e apresenta danos ecológicos.

A Tabela abaixo apresenta a turbidez recomendada em alguns usos da água:

Tabela 1: Limites de turbidez recomendados (fonte: Centro de Tecnologia da Universidade Rural do Rio de Janeiro)

Limites de Turbidez Recomendados	
Usos da água	UNT
Água potável	< 0,5 a 5,0
Água subterrânea típica	< 1,0
Piscicultura	10 a 40

4 Estação de Tratamento de Água GUANDU

A Estação de Tratamento de Água do Guandu é considerada a maior do mundo, está localizada no km 19,5 da Rodovia BR 465 (Antiga Estrada Rio - São Paulo) em Nova Iguaçu.

É uma estação de tratamento convencional completo: com coagulação química, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação. Trata cerca de 42 m³/s e é responsável por 85% do abastecimento da Cidade do Rio de Janeiro e 70% do volume aduzido para os Municípios da Baixada Fluminense (site da CEDAE).

Inaugurada em 1955, a Estação de Tratamento de Água do Guandu tem capacidade para produzir um total de 42.000 litros de água tratada por segundo, atendendo aos municípios de Duque de Caxias, Nilópolis, Nova Iguaçu, Queimados, Itaguaí, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti e Rio de Janeiro. O volume de água tratada no Guandu representa o abastecimento de aproximadamente 9 milhões de habitantes nas regiões acima citadas.



Figura 5: Vista superior do rio Guandu na altura da captação da CEDAE. Fonte: Relatório de Impactos ao Meio Ambiente da CEDAE.

4.1 ESTRUTURAS DE CAPTAÇÃO DA CEDAE

A captação de água no rio Guandu é feita em sua margem esquerda, aproximadamente 400 m a montante da ponte Victor Konder (Ant. Est. Rio São Paulo), em Prados Verdes, Município de Nova Iguaçu, RJ.

As estruturas de captação envolvem (CEDAE):

- 01 Barragem auxiliar com 03 comportas;
- 01 Barragem principal com 07 comportas;
- 01 Barragem flutuante;
- 02 Tomadas d'água por gravidade e túneis de admissão que alimentam as elevatórias de água bruta;
- 01 Canal de purga com 02 comportas;
- Volume de captação ~ 42 m³/s, podendo captar até 45 m³/s;

A CEDAE mantém o nível necessário para a tomada d'água operando duas barragens construídas no rio Guandu, nos anos 1950-60. O barramento formou uma área constantemente alagada, conhecida como Lagoa do Guandu.

A CEDAE tem o direito outorgado pela SERLA (antiga Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagos) através da Portaria nº 524, de 17/01/2007, de captação das águas do rio Guandu a uma vazão de até 45 m³/s.



Figura 6: Vista das estruturas de tomada d'água da ETA da CEDAE. Verifica-se também a confluência com dois rios poluídos: Queimados e Cabuçu. Fonte: Relatório de Impactos ao Meio Ambiente da CEDAE.

5 Riscos

O principal uso das águas do rio Guandu, sem sombra de dúvidas, é o tratamento para consumo de água potável. Esta água potável é tratada na ETA do Guandu e distribuída através de adutoras para o uso de cerca de oitenta por cento da população da região Metropolitana do Rio de Janeiro. Porém, para que este tratamento seja eficiente, é necessário que a chamada água bruta não atinja determinados níveis de poluição nem de turbidez devido ao intenso transporte de sedimentos suspensos no corpo d'água.

Toda esta poluição poderia provocar um colapso no abastecimento de água dos municípios da RMRJ. Em meados da década de 1970, a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) foi obrigada a desativar duas estações de tratamento de água. Uma delas fica em Santa Cruz, na Zona Oeste. A estação de Santos Malheiros captava água do rio Guandu-Mirim. O problema da água é que ela recebeu uma quantidade muito grande de poluentes, impossibilitando o tratamento de água.

Isso ainda não aconteceu com a ETA do Guandu, pois a falta de tratamento do esgoto é compensada com água de diluição. Durante o processo de transposição, é retirada do rio Paraíba do Sul quantidade extra de água para diluir a poluição do Guandu.

Porém, a capacidade de fornecimento de água do rio Paraíba do Sul para o Guandu é limitada pela capacidade da elevatória de Santa Cecília e pelo abastecimento de água nas importantes cidades que ficam rio abaixo, como São Fidélis, Cambuci e Campos dos Goytacazes. Devido ao problema da poluição por esgoto doméstico e efluentes industriais não tratados estar se agravando a cada dia, o rio Guandu precisa receber ainda mais água para que esta possa ser tratada.

Outro grande problema são os areais, alguns clandestinos, que são locais em que se abrem grandes buracos (cavas) para extração de areia do solo, retirando para isso a cobertura vegetal, e muitas vezes, a extração de areia se dá no leito e ao longo das margens do rio Guandu.

Embora seja uma prática ilegal, muitos areais ainda estão em funcionamento. A extração é proibida dentro da área de proteção ambiental (APA) do rio Guandu, que abrange uma faixa de terra de até quinhentos metros em ambas as margens do rio. Esta prática promove o assoreamento do rio, pois grande parte dos resíduos deste processo acabam nele, facilitando a ocorrência de enchentes e aumenta a quantidade de resíduos a serem retirados da água durante o tratamento.

5.1 Confluência de rios poluídos

Seguindo o raciocínio das hipóteses criadas, em que uma das causas da turbidez é a confluência de rios, é importante conhecê-los e identificar os que são poluídos e os que podem estar transportando sedimentos para o rio Guandu.

5.1.1 Rio Paraíba do Sul

Considerando sua nascente mais afastada da foz, o rio Paraíba do Sul nasce na Serra da Bocaina, no Estado de São Paulo, com o nome de rio Paraitinga, recebendo o nome rio Paraíba do Sul na confluência com o Paraibuna, na Represa de Paraibuna. Perfaz um percurso total de 1.137 km, desde a nascente do rio Paraitinga até a foz em Atafona (São João da Barra), no Norte Fluminense.

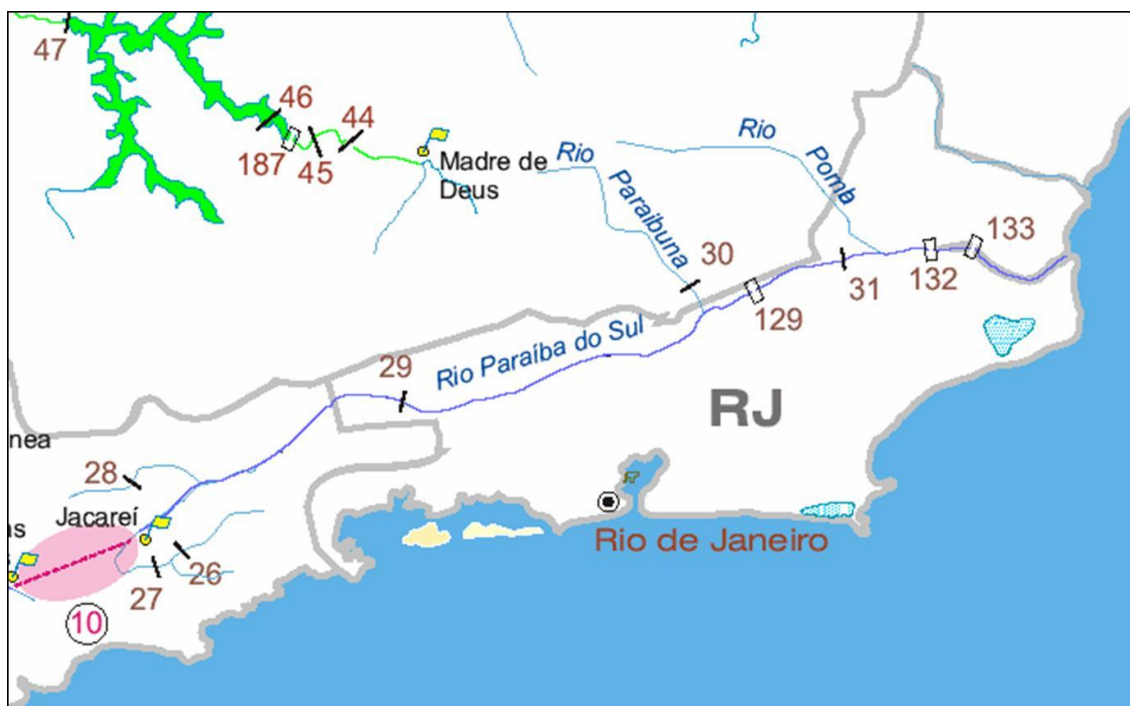


Figura 7: Mapa com localização do rio Paraíba do Sul. Fonte: site Ministério dos Transportes, 2011)

Trata-se de território quase completamente antropizado com a Mata Atlântica original restrita a parques e reservas florestais. O próprio rio tem seu curso marcado por sucessivas represas, destinadas à provisão de água e eletricidade para as populações da bacia e também da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Em razão disso, o rio

encontra-se hoje em estado ecológico crítico, com margens assoreadas e cerca de 40% da sua vazão desviada para o Rio Guandu em Santa Cecília. Suas águas também são utilizadas para abastecimento industrial, preservação da flora e fauna e disposição final de esgotos.

As águas do rio Paraíba do Sul possuem níveis de poluição altos, devido sobretudo ao lançamento de esgoto sanitário por parte dos municípios que estão a montante de Santa Cecília, mas a distância entre o ponto de captação de suas águas e a estação de tratamento faz com que a maior parte desta poluição acabe ficando pelo meio do caminho pelo processo de autodepuração natural do rio.

5.1.2 Rio Poços/Queimados

Os rios dos Poços e Queimados e córregos poluídos do município de Seropédica nas proximidades da ETA estão frequentemente cobertos por vegetação flutuante, pois esses rios tem altíssima concentração de matéria orgânica, que alimenta as plantas. O rio dos Poços é um dos mais poluídos de toda macrorregião da bacia hidrográfica do rio Guandu. A montante da captação, ele forma uma grande lagoa e se junta ao rio Guandu.

Na Lagoa do Guandu, o ambiente é propício à proliferação de algas devido à elevada carga de nutrientes dos esgotos, fósforo principalmente, e baixa concentração de oxigênio dissolvido (Costa et al, 2007).



Figura 8: Imagem reflete o grave problema da Lagoa do Guandu, antes da captação de água pela CEDAE. Extraído de O GLOBO, 22/03/2008.

É também considerável o risco de acidentes com cargas tóxicas industriais, tanto na rotina operacional das indústrias como no transporte desse material pelas rodovias que atravessam as sub-bacias.

5.1.3 Rio Cabuçu/Ipiranga

A rede hidrográfica que forma os rios Cabuçu/Ipiranga carrega o despejo de esgotos domésticos, resíduos industriais e lixo para o rio Guandu. O problema ocorre há mais de vinte anos e vem se agravando em consequência do crescimento urbano e industrial desordenado (4).

5.2 Areais

É uma realidade comprovada que um dos problemas enfrentados na Estação de Tratamento de água do Guandu se deve à atividade extrativa de areia ao longo das margens e leito do rio Guandu, demonstrar a relação entre a atividade e o controle de qualidade da água bruta e alertar sobre os impactos ambientais causados pela atividade quando esta não é exercida sem o devido planejamento, controle e fiscalização.

O rio Guandu é considerado um rio “artificial” segundo sua origem. As vazões naturais da bacia hidrográfica do rio são da ordem de $20\text{m}^3/\text{s}$, enquanto os deflúvios oriundos da transposição da bacia do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu causou o aumento excessivo da vazão do rio, provocando um processo natural de ajustamento da calha fluvial deste curso d'água. Com isto provocou-se um intenso atrito hidráulico em seu perímetro molhado, promovendo grande descarga sólida - fato que propiciou grandes facilidades para extração de areia transportada na calha fluvial do rio Guandu (5).

A extração de areia do rio vem sendo realizada para atender o mercado da construção civil. No início esta prática limitava-se a extração de areia apenas do leito do rio. No entanto, nos últimos anos começou a ocorrer uma prática de extração, que pode se julgar predatória para o rio Guandu e prejudicial para o tratamento da água na Estação do Guandu. A região referida é um trecho de aproximadamente 10 km a montante da captação, situado entre a ETA e a rodovia Presidente Dutra. Para melhor



Figura 9: Imagem do areal Santo Baia, no Distrito Areeiro de Seropédica. Extraído de (12)

compreensão, os pontos de extração de areia foram identificados, conforme figura 10.

Em 1987 foi realizado, pela CEDAE, um levantamento aéreo para relatar as áreas com os danos causados. Nesta época já se alertava sobre os problemas que estes areais poderiam trazer para a Estação de Tratamento.

Posteriormente a HIDROESB, empresa contratada pela CEDAE para realizar estudos de monitoramento e disponibilidade hídrica no rio Guandu, também alertou sobre os problemas de degradação ambiental no rio devido à exploração de areais.



Figura 10: Localização da região de areais. (Google Maps, 2010)

Foram realizados alguns estudos do comportamento dos valores de turbidez na ETA-GUANDU (5). Foi constatado que a faixa de variação máxima de turbidez ocorre diariamente entre 14 horas e 23 horas e os valores médios diários são menores nos domingos e feriados.

É importante ressaltar que o valor de turbidez é um dos principais parâmetros de controle de qualidade e que em valores elevados dificulta o tratamento da água, além de

umentar consideravelmente os gastos com coagulantes (sulfato de alumínio) na ETA-GUANDU.

5.2.1 Consequências dos areais

Os areais sem qualquer regulamentação e fiscalização ambiental causaram e ainda causam inúmeros problemas ao sistema Guandu. Seguem abaixo alguns exemplos:

- O aparecimento de diversos lagos junto às margens do rio, que com o avanço da exploração, se incorporaram ao leito do rio aumentando consideravelmente sua largura e em alguns casos formando bolsões d'água em zona morta. Os grandes bolsões de água formados lateralmente ao rio, por se tratarem de zonas sem fluxo e, portanto, sem renovação, são áreas de acúmulo de vegetação flutuante que em casos de enchentes se desprendem e vêm se acumular no gradeamento da tomada d'água. Além disto, as algas acumuladas nestes bolsões podem representar um risco ainda maior por se tratarem de vegetação com grande poder de absorção de metais pesados. Os bolsões de água também propiciam o desenvolvimento de vetores de doenças.

- Há diversas explorações com cortes acentuados das margens do rio, não há critério para localização das máquinas extratoras, em que as máquinas são remanejadas em função da facilidade de exploração, a água de descarga das bombas extratoras (após o peneiramento), contém alta concentração de partículas em suspensão, provocando o aumento da turbidez da água do rio. Está havendo uma transformação da paisagem com características naturais para uma paisagem com inclusão de caixas de areia, montes de areia, bombas extratoras, derramamento de óleo na água, alteração da coloração da água por incremento de sólidos finos em suspensão, criação de bolsões d'água junto as margens, degradação da mata ciliar, etc.

- O rio tem uma variação de vazão bastante acentuada devido aos deflúvios oriundos da transposição da bacia. Esta variação é regida pela necessidade de geração de energia e a vazão flutua entre 120 m³/s e 200 m³/s variando assim, também as condições de arraste do rio. O revolvimento do fundo do leito, o corte das margens e a emissão do material

excedente da lavagem da areia de volta ao leito do rio provoca um aumento pontual de turbidez que pode ser comprovado visualmente. Outro fator de extrema relevância é que com as margens instáveis tornam a qualidade da água do rio mais vulnerável a alterações bruscas quando da ocorrência de chuvas fortes com o aumento da vazão do rio e conseqüentemente o aumento do atrito hidráulico em suas margens.

- A retirada de vegetação das margens do rio para a exploração de areais, além de outros fatores, prejudica em muito a estabilidade das margens e aumenta a erosão do solo nas situações adversas de chuvas intensas.

5.3 Conseqüências ao rio Guandu e seu futuro como fonte de abastecimento de água potável

O rio Guandu pode perder a sua principal função de abastecimento de água à RMRJ, por causa da falta de fiscalização rigorosa e adequada.

A Constituição federal estabelece que os recursos minerais são bens da União e que é dever de todas as esferas protegê-los. Apesar de ser a dona da atividade, a União é ignorada por areais, cujas licenças do Departamento Nacional de Produção Mineral estão vencidas ou que não tinham sequer licença de operação.

A exploração provoca a formação de lagos artificiais com exposição do lençol freático, o corte indevido do terreno com inclinação acima do permitido (a lei estabelece 45 graus, mas havia cortes de até 90 graus) e supressão de vegetação, com conseqüente assoreamento, além de realizarem o jateamento das margens, o que causa desbarrancamento e altera o perfil dos rios.

6 Metodologia

Para o estudo das características físicas das vazões e turbidez do rio Guandu, foi utilizado o programa de simulação HEC-RAS (River Analysis System, 2010).

6.1 O programa HEC-RAS

HEC-RAS é um programa computacional que modela a hidráulica de escoamento de água em rios e canais e criado pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, Departamento de Defesa dos Estados Unidos, aberto para uso público desde 1995.

O programa auxilia na engenharia hidráulica para análise de vazões em canais, e possibilita inúmeras entradas de dados, análise de componentes hidráulicos e capacidade de gerar gráficos e tabelas com resultados das simulações, além de modelar escoamentos subcríticos ou supercríticos, introdução de pontes, simulação de redes de canais, seções compostas, estabelecimento de seções transversais com vários pontos e simulação de transporte de sedimentos.

O modelo emprega um trecho de rio esquematizado com uma calha central e duas planícies laterais, permitindo contemplar seções compostas, apesar de se tratar de um modelo unidimensional.

O procedimento básico computacional do HEC-RAS para escoamentos permanentes é baseado na solução da equação unidimensional de energia (equação de Bernoulli). Os perfis das superfícies d'água são computados de uma seção transversal a outra por esta equação através de um procedimento iterativo.

A equação de energia utilizada segue abaixo (Hydraulics reference Manual, 2010):

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Onde:

Z_1, Z_2 = elevação do canal principal nas seções transversais 1 e 2;

Y_1, Y_2 = profundidade da água nas seções transversais 1 e 2;

V_1, V_2 = velocidades médias nas seções transversais 1 e 2;

a_1, a_2 = coeficientes de ponderação de velocidades médias;

g = aceleração gravitacional;

h_e = perda de carga de energia por unidade de peso de água. Esta perda de carga de energia entre as duas seções 1 e 2 é composta de perdas por atrito e perdas por contração e expansão.

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|, \text{ onde:}$$

L = comprimento atingido pela descarga ponderada;

\bar{S}_f = coeficiente de atrito entre duas seções;

C = coeficiente de perdas de expansão ou contração.

Representação gráfica da Equação de Energia:

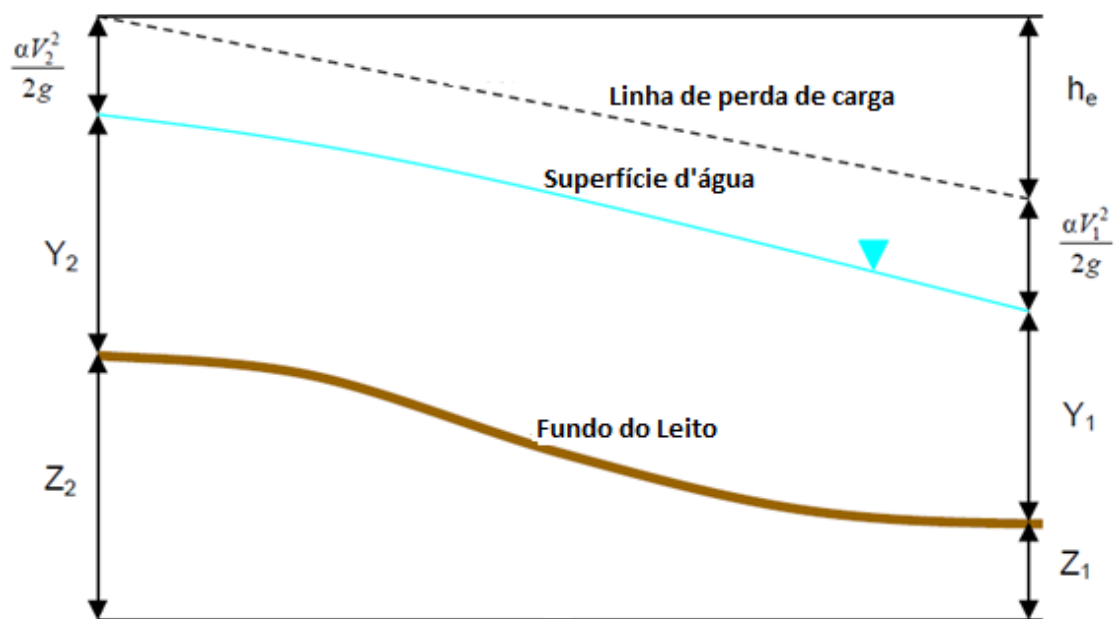


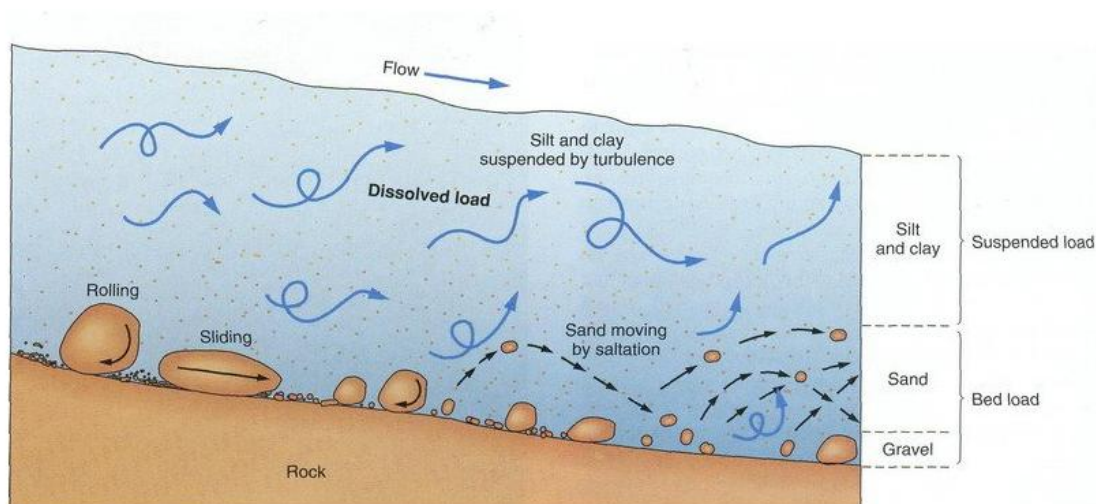
Figura 11: Representação dos termos da equação de energia. Modificado de Hydraulics Reference Manual, 2010.

Perdas de energia são avaliadas por fricção e expansão/contração. A equação é adequada para situações em que o perfil da superfície d'água varia constantemente, como saltos hidráulicos, hidráulica de pontes e avaliação de perfis em confluências de rios.

Para as simulações de turbidez, foram utilizados escoamentos quase permanentes, requisito do programa para estudo sedimentológico.

6.2 Transporte de sedimentos

O **HEC-RAS** para o estudo de transporte de sedimentos faz uso de funções de transporte de sedimentos resultantes de uma ciência teórica e empírica. Para estas funções, todas apresentam uma variável que quantifica a força ou energia necessária para mover uma partícula. A seguir são descritas algumas das fórmulas empregadas pelo modelo para o transporte de sedimentos.



Transporte de sedimentos por um rio

Figura 12: Esquema de transporte de sedimentos por um rio. Extraído do Livro Terra: Universo de vida

6.2.1 Ackers-White

O método proposto por ACKERS-WHITE é baseado na análise adimensional dos parâmetros envolvidos no transporte sólido.

Os autores vincularam o movimento dos sedimentos às grandezas: tamanho da partícula, peso específico da água, peso específico do sedimento, densidade do sedimento, velocidade média do escoamento, profundidade do escoamento, velocidade de atrito, viscosidade cinemática do fluido e aceleração da gravidade.

O transporte de fundo é admitido como sendo responsável pelo transporte das partículas mais grosseiras. Se existe esta interação com o fundo, admite-se que existe uma relação entre a tensão de atrito e a velocidade média do escoamento como uma superfície rugosa em repouso. Isto é obtido pelo desenvolvimento da equação do escoamento turbulento rugoso.

6.2.2 England (Engelund)-Hansen

A equação de transporte de Engelund-Hansen leva em consideração que o fluxo de energia está relacionado diretamente com o transporte de sedimentos (6).

6.2.3 Meyer Peter Muller

Esta função foi criada em 1948 para o transporte de sedimentos em leitos de rios.

6.3 Dados aplicados

Os dados utilizados para a modelagem foram obtidos do Relatório Final de Estudo Hidrossedimentológico do rio Guandu (Vinzon e Cassar, 1998). Nas Tabelas em Anexo (Tabela 2 a 6) são mostrados os dados empregados na modelagem: geométricos, fluviométricos e hidrossedimentológicos. É importante ressaltar que as simulações de variação de vazões e turbidez foram feitas a partir de interpolações desses dados.

Para o escoamento permanente, o nível d'água da jusante usado foi o medido de valor $h=11,895\text{m}$ (cota IBGE) e a vazão constante da montante, com valor de $q=150\text{m}^3/\text{s}$ (média durante o período das medições).

Para os dados geométricos, inicialmente foi admitido que o coeficiente de atrito é uniforme, o coeficiente de contração de 0,1 e de expansão de 0,3 para transições graduais, já padrão do programa de modelagem.

Para as seções transversais, foram criadas duas tabelas (ver Anexo – Tabelas 4 e 5) para os eixos x (coordenadas horizontais) e y (coordenadas verticais), os perfis transversais de um total de 164 seções, distanciados a cada 250m, considerados constantes, que se situam entre a UHE de Pereira Passos e a captação de águas para a ETA da CEDAE.

Abaixo, um exemplo de seção transversal com a entrada de dados:

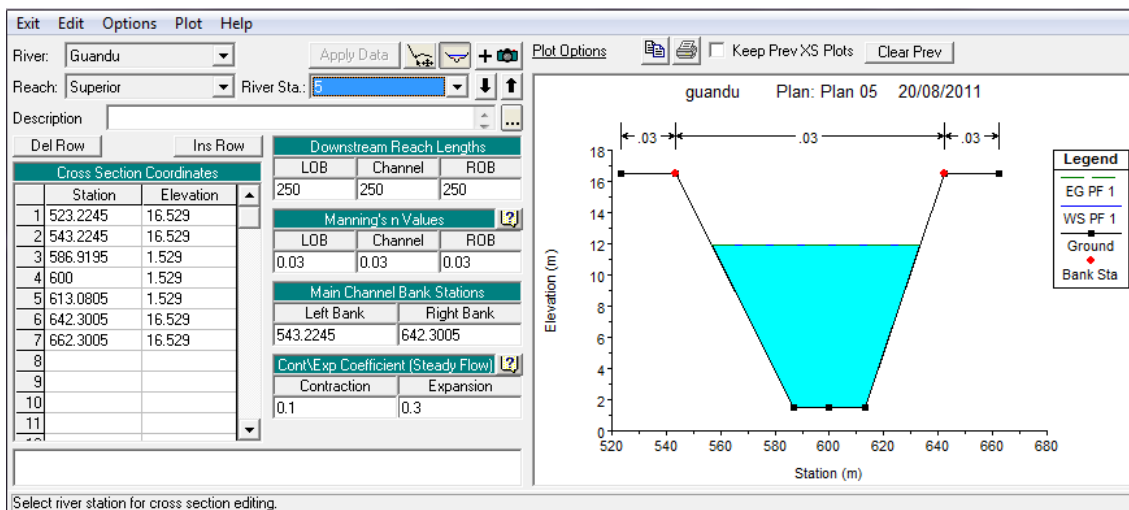


Figura 13: Apresentação da seção transversal pelo HEC-RAS

6.4 Calibração e ajuste de curvas para cota de fundo e nível d'água

Baseando-se nos dados da batimetria realizada e nos níveis d'água medidos (Vinzon e Cassar, 1998) para o Relatório Final de Estudo Hidrossedimentológico do Rio Guandu, obtém-se o seguinte perfil, desde a jusante da UHE de Pereira Passos até a montante da ETA CEDAE:

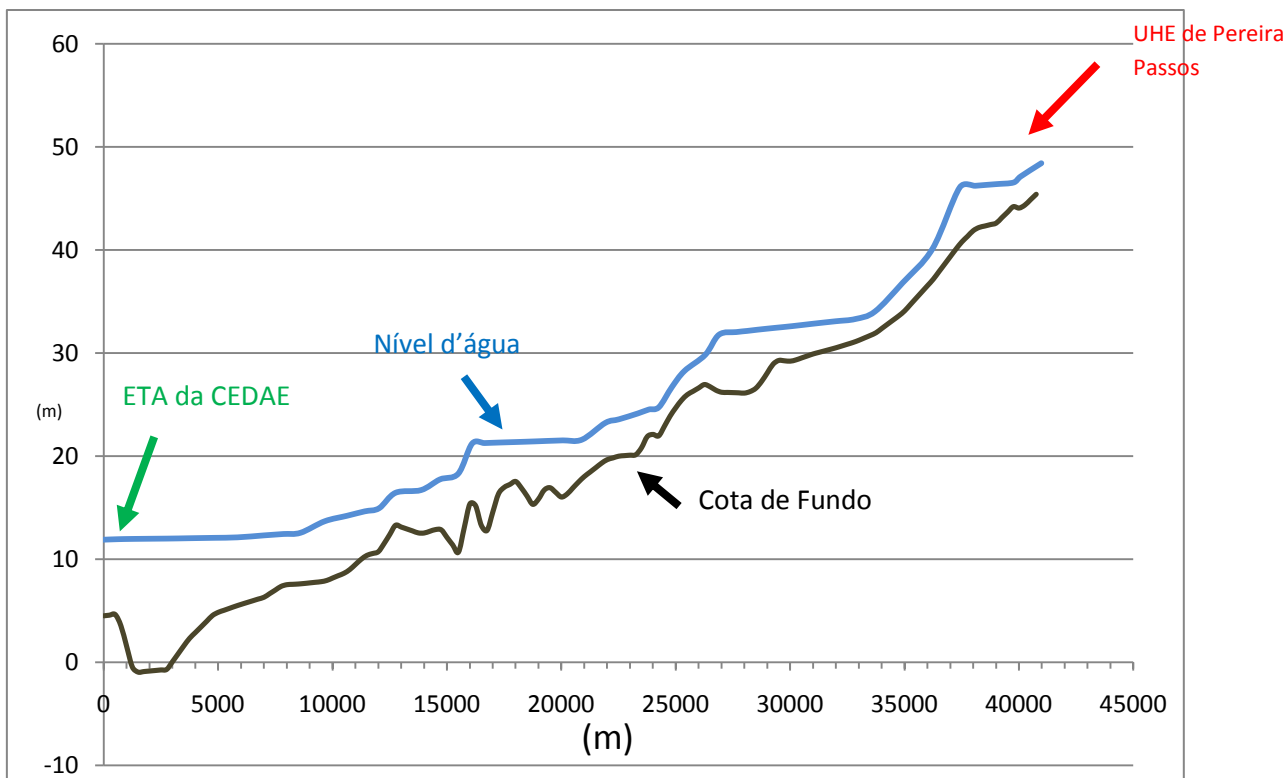


Gráfico 1: Cota de nível e cota de fundo medidas no trecho superior do rio Guandu

Para se ter uma referência dos pontos de coleta, segue abaixo mapa com a localização das seções transversais, espaçadas a cada 250 metros:

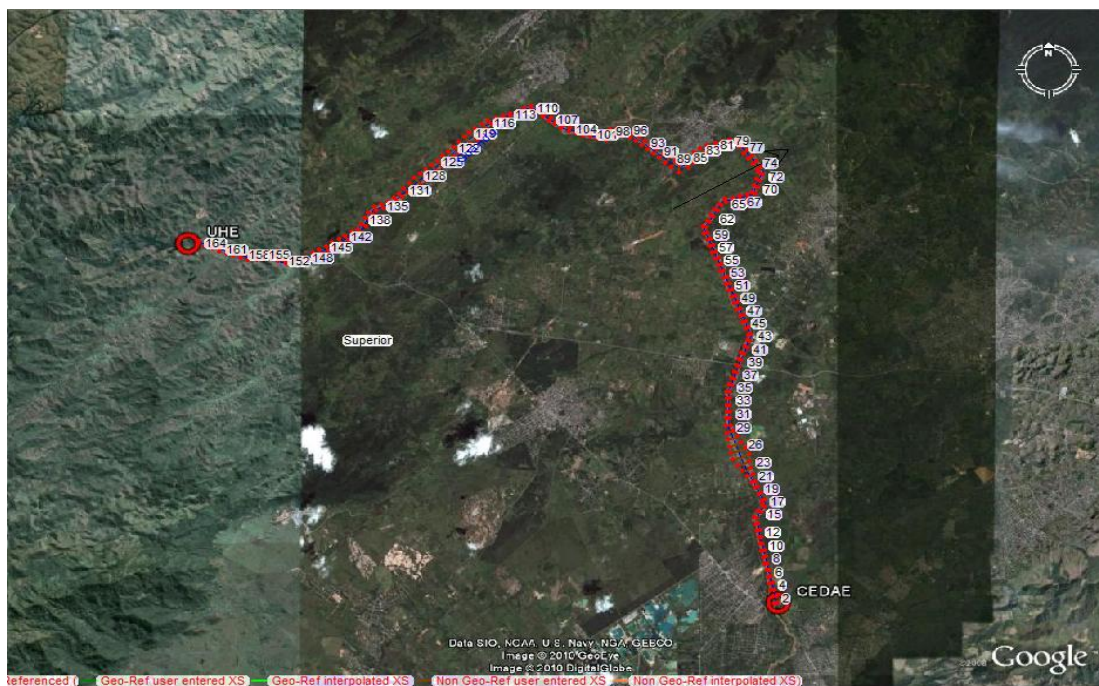


Figura 14: Localização das seções transversais estudadas

A curva do nível d'água, com características hidrodinâmicas similares ao medido no rio Guandu, foi realizada obtida por uma vazão de $Q=150\text{m}^3/\text{s}$ para a montante na LIGHT (UHE de Pereira Passos) e o nível d'água de 11,895m na seção de jusante, onde se localiza a captação de água pela CEDAE (Vinzon e Cassar, 1998). Para a modelagem, além de uma série de simulações para escoamento permanente, variou-se a rugosidade da calha para obter a curva de melhor ajuste.

Inicialmente, foi utilizado o valor constante de $n=0,03$ (calha com fundo de terra e taludes com pedras) para o coeficiente de Manning. (ver Anexo-Tabela 2), que é um coeficiente padrão do simulador.

Foram testados os níveis d'água para os coeficientes $n=0,02$ (canais de terra retilíneos e uniformes), $n=0,04$ (canais com leito pedregoso e talude vegetado), n =variável por trechos do rio (variação entre 0,01 a 0,05) e por último, $n=0,08$ (rios com pouca vegetação e em más condições) nas seções 41 a 125.

7 Resultados da modelagem por HEC RAS

7.1 Resultados da modelagem para vazões constantes

Segue abaixo o resultado das calibrações realizadas com diferentes coeficientes de Manning até se obter a curva de maisbem ajustada ao nível d'água medido:

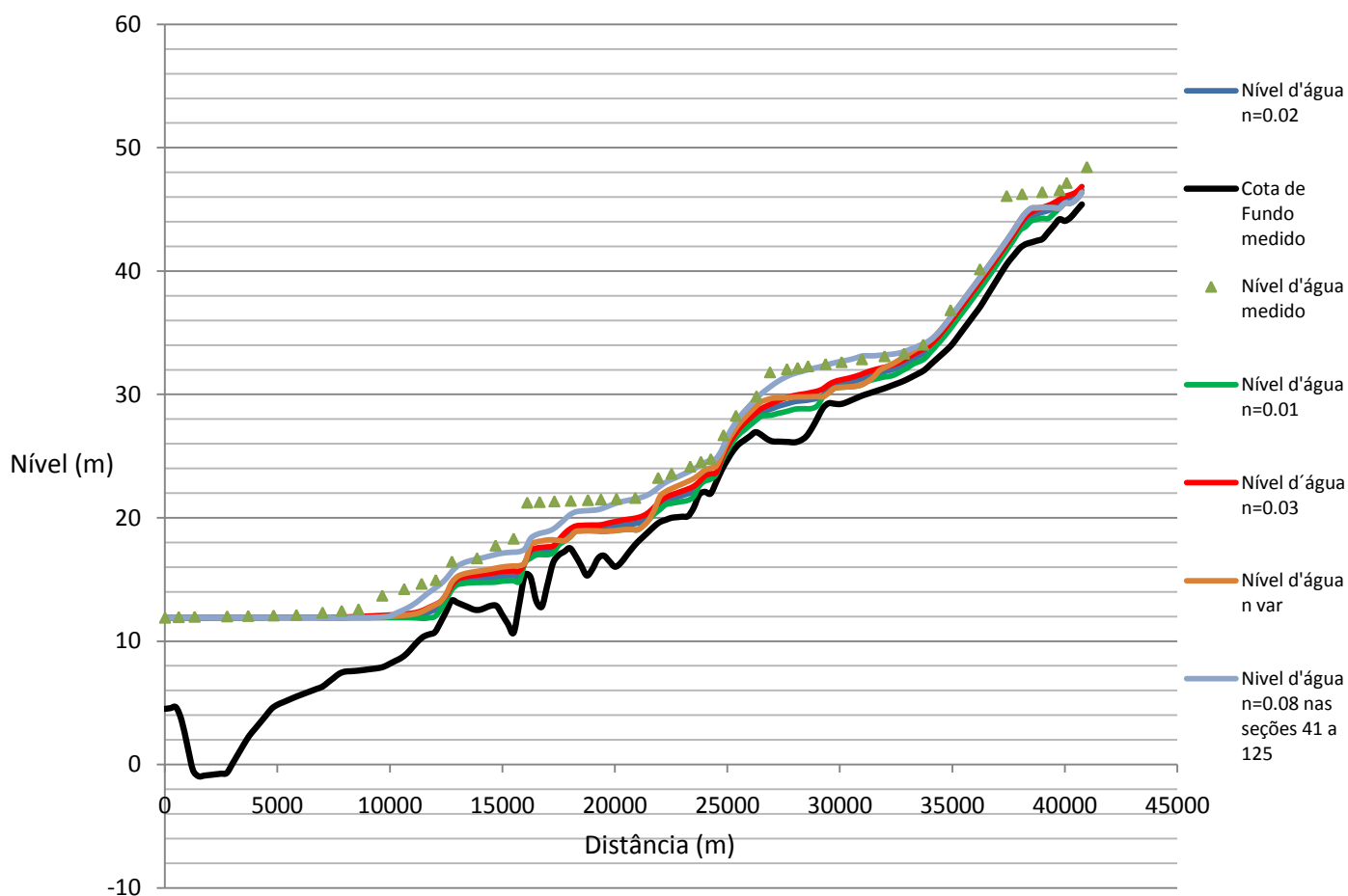


Gráfico 2: Cotas de nível medidas e simuladas de acordo com as diferentes rugosidades do leito e margens testadas. A RN é referenciada ao sistema altimétrico do IBGE. A cota do zero para a captação da CEDAE é 7,944m (Vinzon e Cassar, 1998).

Conforme resultados observados, a curva que melhor se ajustou ao nível d'água medido foi a que apresenta um coeficiente de Manning de 0,08 entre as seções 41 e 125. Os estudos de variação de turbidez se apoiarão nas características hidrodinâmicas e geométricas apresentadas por este modelo simulado.

Na distância entre 15000m e 20000m, existe uma diferença entre o real medido e o simulado. Essa diferença pode ter sua explicação no fato de que quando foram realizadas as medições de nível, que foram feitas durante a semana de 31 de julho de 1995 a 07 de agosto de 1995, podem ter coincido com as vazões de pico do rio.

7.2 Resultados da modelagem para vazões variáveis

Para as vazões variáveis, foram obtidos os dados limnimétricos do rio Guandu no período de 31 de julho de 1995 a 07 de agosto de 1995.

Segue abaixo gráfico das vazões:

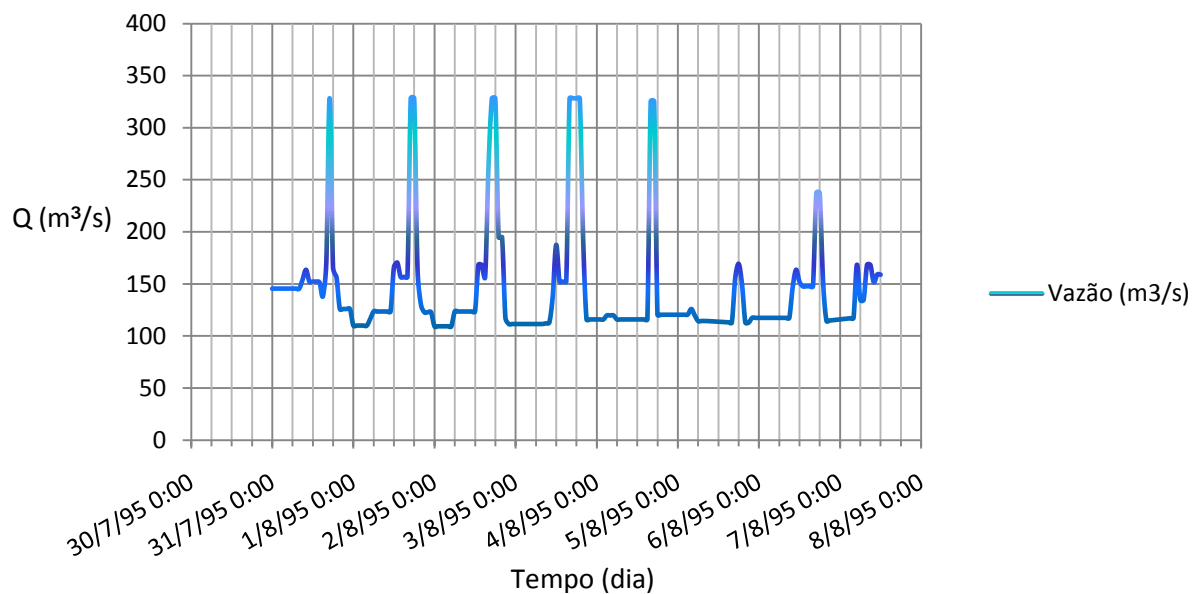


Gráfico 3: Vazão medida no período de uma semana

Nota-se que as vazões apresentam picos diários constantes. Eles ocorrem em dias de semana, e sempre em horários de maior consumo de energia elétrica (entre 18 e 19 horas), quando a barragem na UHE de Pereira Passos entra em operação para suprir essa demanda.

Como exemplo, foi feita uma simulação da variação de vazão do dia 2 de agosto, comparando os horários 6 da manhã e 6 da tarde. Para as condições de contorno, a modelagem recebeu dados da serie de vazões a montante, na Usina de Pereira Passos e o nível d'água à jusante considerado constante, devido à barragem da Cedae, que limita a variação brusca de vazões naquele ponto.

Os perfis do trecho superior obtidos seguem abaixo:

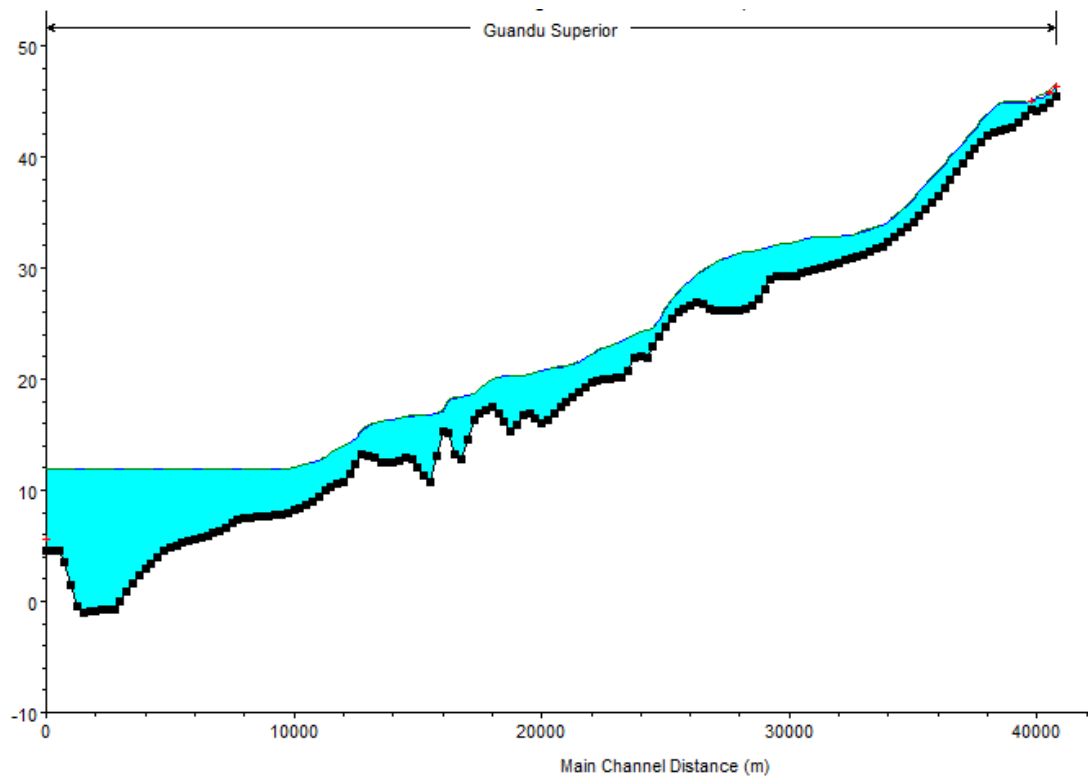


Figura 15: Perfil simulado do trecho superior às 6 horas da manhã

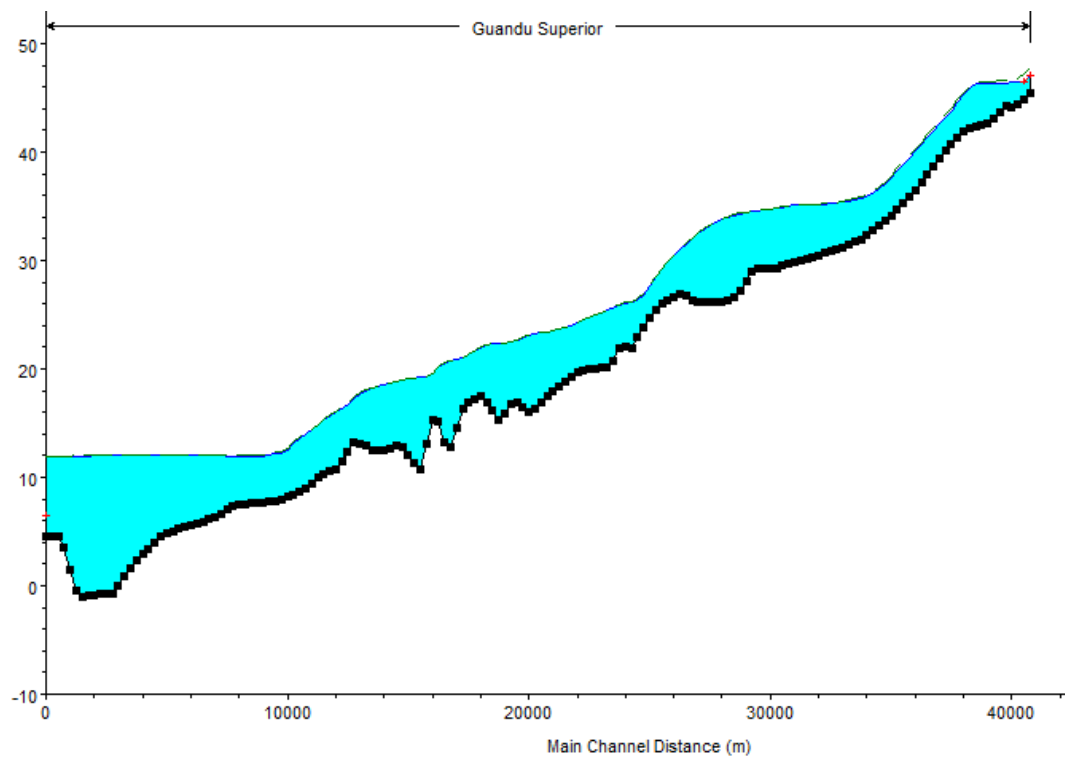


Figura 16: Perfil simulado do trecho superior às 6 horas da tarde

7.2.1 Resultados para Turbidez

A partir de uma bateria de simulações, o proposto é identificar o comportamento da turbidez para as hipóteses estabelecidas neste trabalho e sua comparação com os dados já existentes de turbidez (obtida pela CEDAE), como apresentado abaixo. É importante ressaltar que os estudos dos resultados se baseiam em comparações qualitativas.

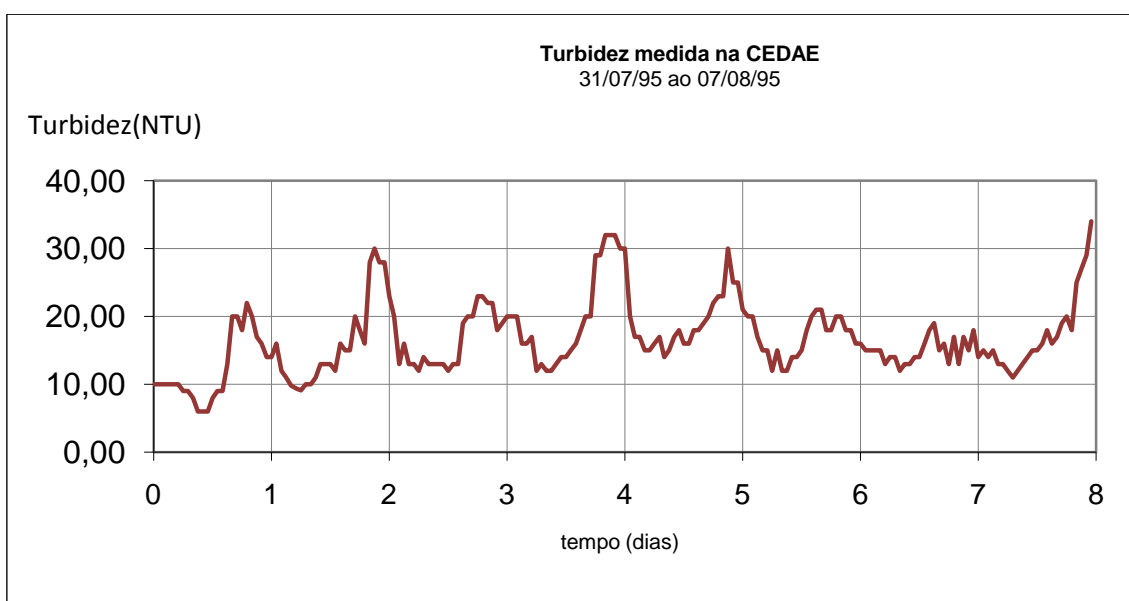


Gráfico 4: - Registros de turbidez obtidos pela empresa CEDAE (1996) durante uma semana do mês de agosto de 1995.

Para a granulometria do sedimento de fundo, foram considerados os dados do Relatório Final (Vinzon e Cassar, 1998).

Foram realizados nos meses de agosto, setembro e outubro de 1995 três ensaios granulométricos com os sedimentos retirados do fundo próximo à seção transversal 36, a uma distância de cerca de 9 km da captação da CEDAE (ver Anexos – Tabela 2), ponto conhecido como Fazenda dos Mineiros. Foi escolhido este ponto já que está situado na região de extração de areia.

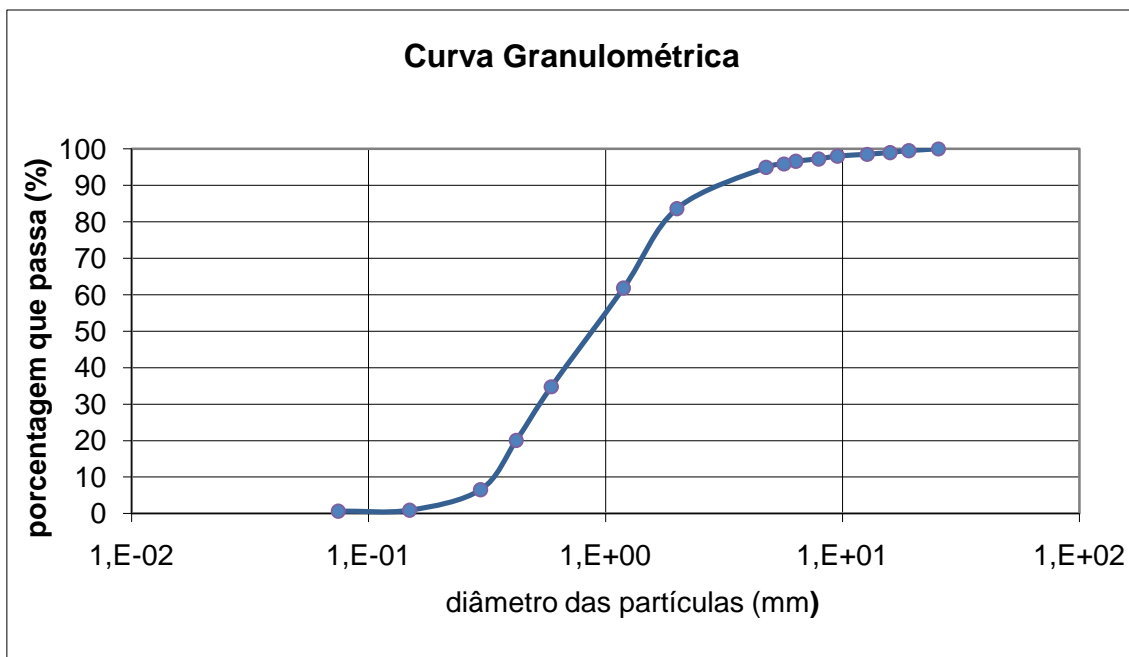


Gráfico 5: Curva granulométrica para a seção transversal 36

Os dados de granulometria são importantes e necessários para a condição de contorno dos sedimentos para o leito do rio. Para o sedimento em suspensão foi considerado composto 100% por material fino.

A seguir, serão vistos os resultados comparativos da turbidez medida na CEDAE com a turbidez simulada pelo HECRAS para cada um dos cenários propostos:

Hipótese 1 – Extração de areia nos areais;

Hipótese 2 – Operação da barragem da UHE de Pereira Passos gera uma vazão que causa a ressuspensão dos sedimentos encontrados no leito do rio;

Hipótese 3 – Operação da barragem UHE de Pereira Passos gera uma vazão com aporte de sedimentos provenientes da transposição do rio Paraíba do Sul, contribuindo para a variação de turbidez no rio Guandu;

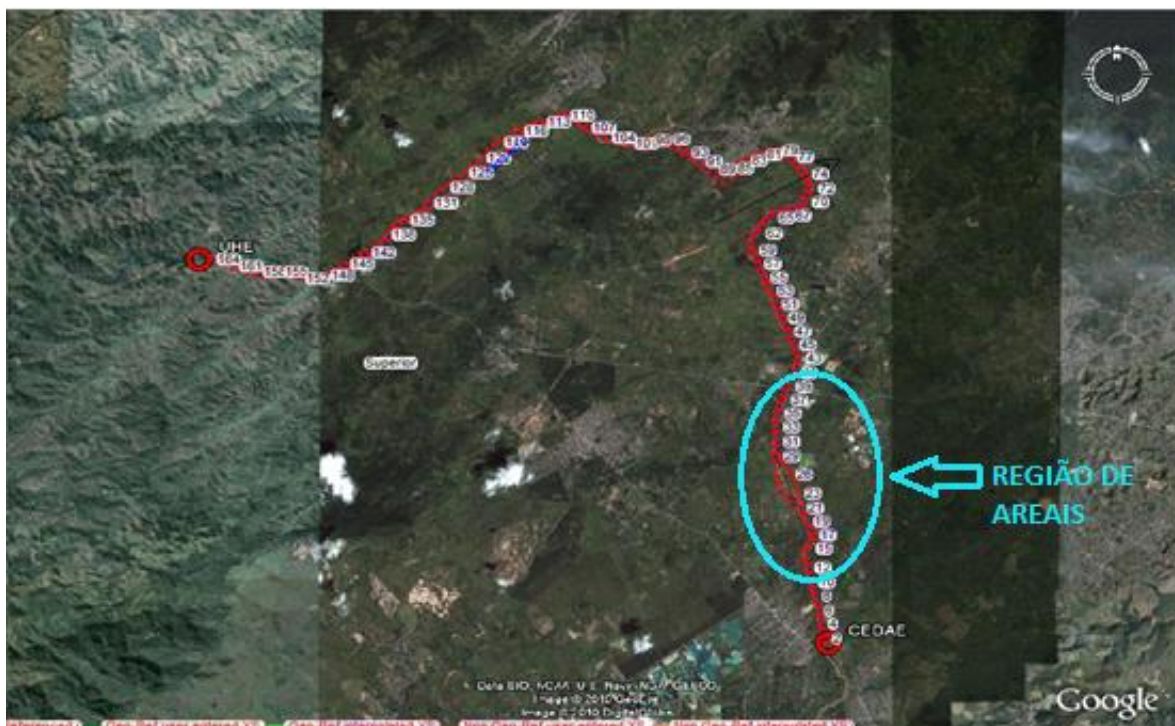
Hipótese 4 – Confluência dos rios Cabuçu/Ipiranga, Poços/Queimados, Santana e São Pedro com o rio Guandu;

Hipótese 5 – União dos casos 1, 3 e 4.

7.2.1.1 Hipótese 1 – Extração de areia nos areais

Para a simulação de turbidez causada por areais localizados nas proximidades da captação de água da CEDAE, foram considerados 8 areais localizados

aproximadamente nas seções transversais 12, 16, 18, 20, 29, 32, 33 e 38 do rio Guandu. A seguir, um croquis da localização dos areais.



Para cada uma das seções foi considerado o valor de 127,2 ton/h de sedimentos suspensos gerados a partir de uma dragagem de sucção de 480m³/h e eficiência de 90%, amplamente utilizado para extração de areia de rios. Foi considerado o peso específico para o sedimento de fundo de rio como 2650kg/m³.

Outra característica considerada para este caso é a de que os areais só trabalham em horários comerciais, ou seja, somente em dias de semana, das 8 horas da manhã até às 17 horas da tarde, não havendo atividade aos sábados e domingos.

Utilizando a curva granulométrica para caracterização dos sedimentos de fundo,, fez-se a simulação de turbidez, com resultados representados graficamente para seção a jusante do trecho superior do rio Guandu (seção transversal 1), onde há captação de água para a ETA:

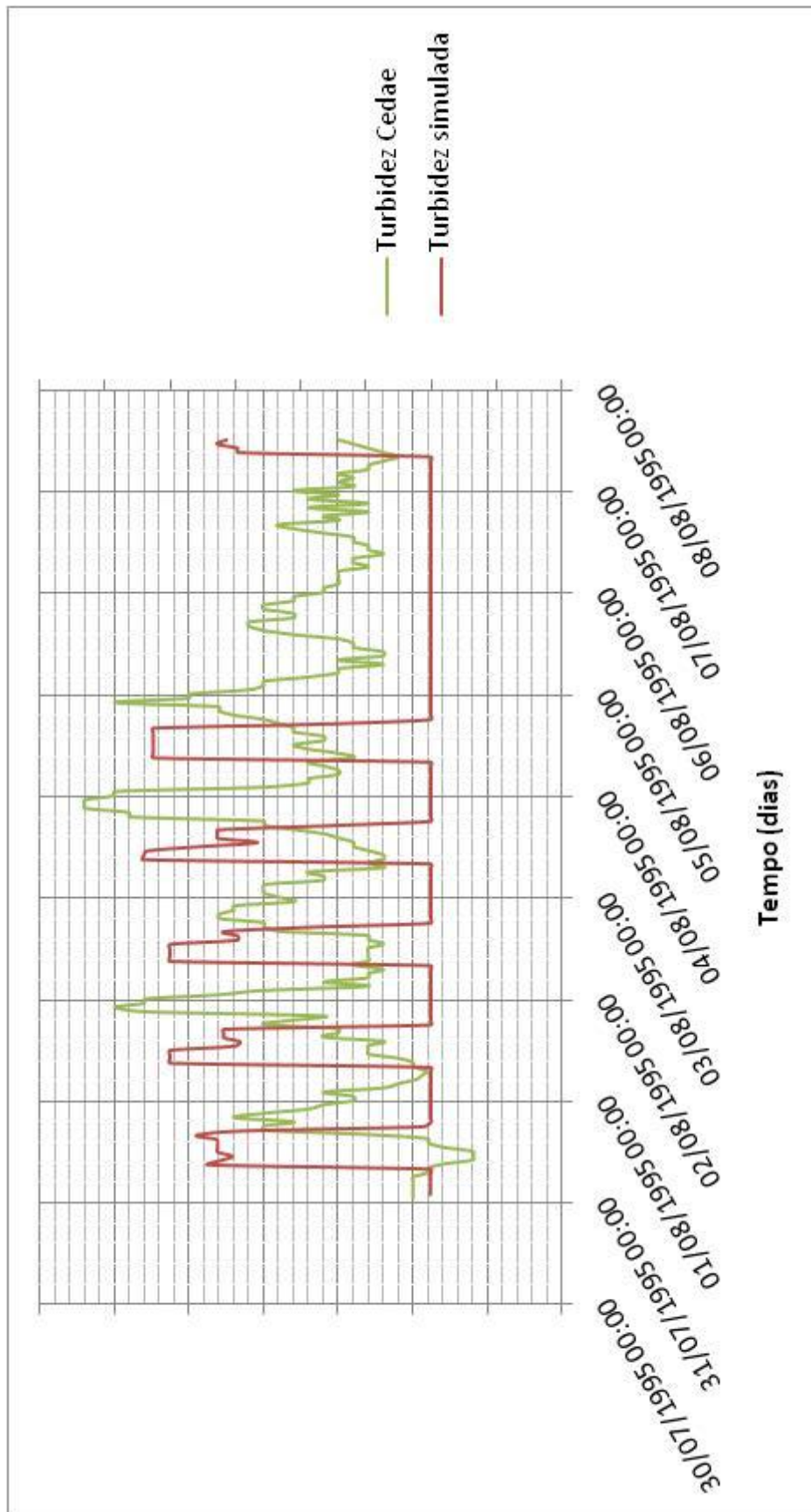


Gráfico 6: Simulação de turbidez para a hipótese 1.

Pode-se observar do gráfico que, qualitativamente, há diferenças tanto em amplitude quanto em fase das variações de turbidez ocorridas entre a medida da Cedae e a simulada no HEC-RAS.

Entretanto, o aumento de turbidez causado por areais mantém-se diário e constante, seguindo um padrão que é a de ocasionar somente a elevação de sedimentos em suspensão nos horários de trabalho dos areais. A turbidez simulada mostra que pode haver influência dos areais para o aumento da turbidez na captação de águas pela Cedae.

7.2.1.2 Hipótese 2 – Abertura da barragem da UHE de Pereira Passos gera uma vazão que causa a ressuspensão dos sedimentos encontrados no leito do rio

Para este caso, foi considerado que a abertura da barragem da UHE de Pereira Passos somente contribui para o aumento de vazão, não havendo transporte de sedimentos provenientes à montante. A seção transversal correspondente é a 164 (ver Anexo – Tabela 2).

A intenção é verificar se a variação da vazão ocasionada pelos picos de consumo de energia causa a ressuspensão dos sedimentos e erosão do leito e das margens do rio Guandu.

Utilizando a curva granulométrica para caracterização dos sedimentos de fundo, foram testadas as equações de Ackers-White, Engelund-Hanses e Meyer Peter Muller para o transporte de sedimentos a partir da seção transversal 164 até a 1:

A turbidez medida da Cedae tem picos elevados que estão na mesma fase que os picos de vazões do rio.

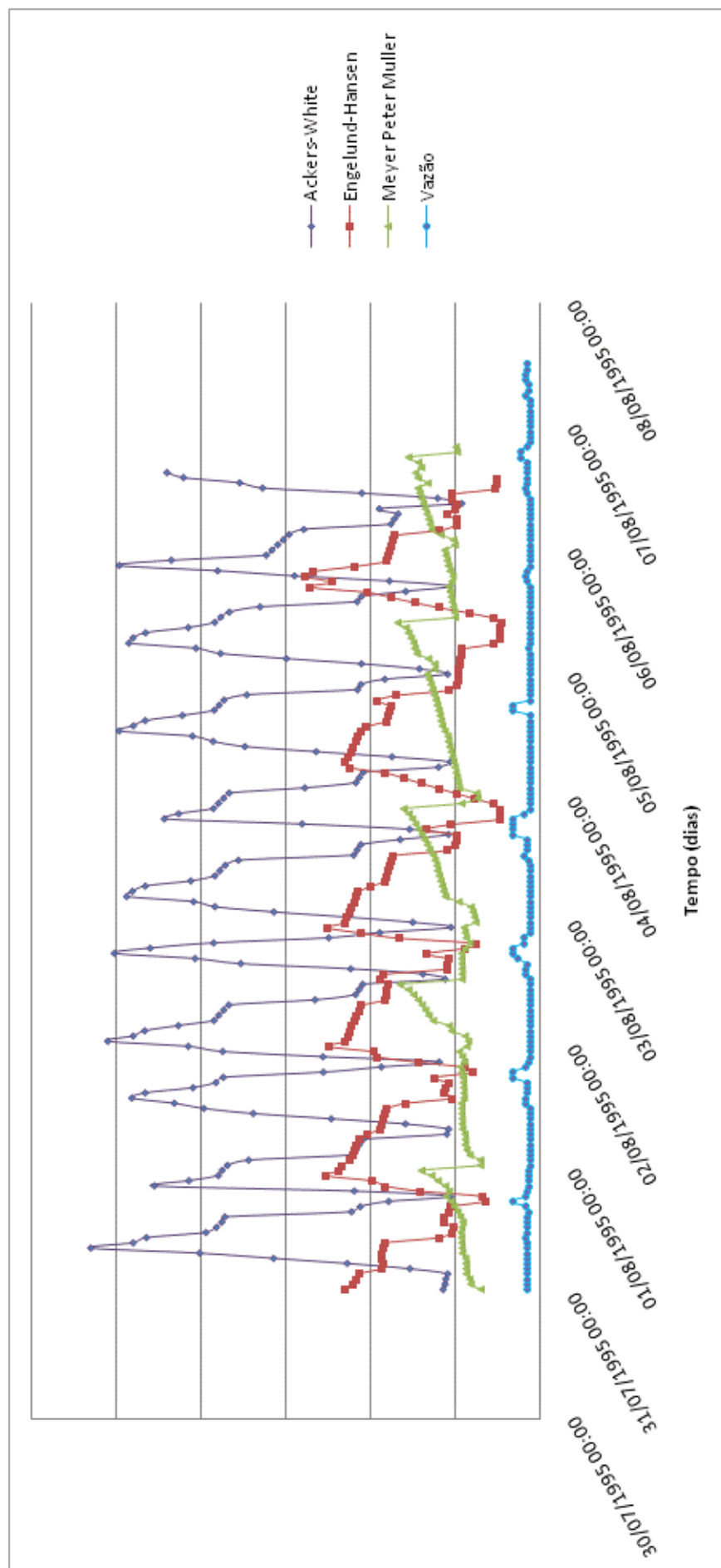


Gráfico 7: Simulação de turbidez para diferentes funções de transportes de sedimento.

As curvas de turbidez são semelhantes em relação às fases e simultaneidade nos picos, de forma que independe da fórmula de transporte de sedimentos utilizado no trabalho. Dos tipos de transporte apresentados, o escolhido para prosseguir com a modelagem é o Engelund-Hansen. A escolha foi feita em razão das comparações qualitativas com a turbidez da CEDAE.

Então, considerando a equação de Engelund-Hansen, seguem resultados obtidos com a simulação para a seção transversal 1, à jusante:

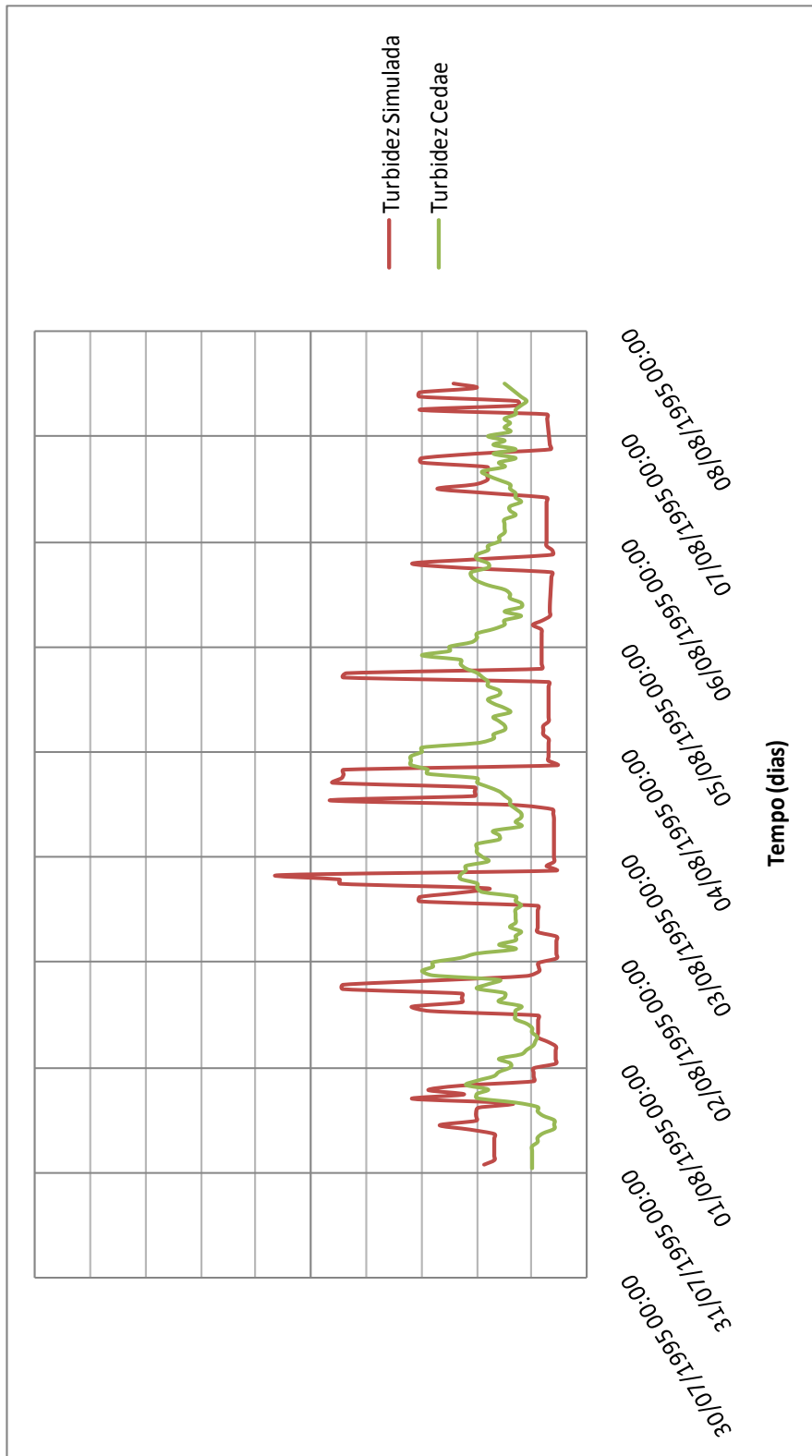


Gráfico 8: Simulação da turbidez para a hipótese 2.

Verifica-se uma semelhança na fase das variações de turbidez medida da Cedae e a simulada, ambas acompanhando o pico de vazões ocasionadas pela abertura da barragem da UHE de Pereira Nunes. A amplitude é maior na turbidez simulada.

Nota-se também na simulação que mesmo no fim-de-semana existe uma variação de turbidez, como a detectada pela turbidez medida pela Cedae.

7.2.1.3 Hipótese 3 – Abertura da barragem UHE de Pereira Passos gera uma vazão com aporte de sedimentos provenientes da transposição do rio Paraíba do Sul, contribuindo para a variação de turbidez no rio Guandu

Para o caso 3, foi considerado que a abertura da barragem da UHE de Pereira Nunes não só causa uma variação da vazão, como também ocasiona um aumento de sedimentos suspensos no rio Guandu, devido à transposição do Rio Paraíba do Sul, que é um rio com turbidez elevada. A seção transversal 164 é mantida.

Utilizando a curva granulométrica para caracterização dos sedimentos de fundo, e utilizando a equação de Ackers-White, foram testadas duas condições de contorno para sedimentos: Equilibrium Load (EL) e Sediment Time Series (STS). Na condição EL, o programa computa a capacidade de transporte de sedimento na seção transversal, que será tomada como entrada de sedimentos no modelo. Para este tipo de condição de contorno, não há erosão ou acúmulo de sedimentos na seção transversal.

A STS pede a entrada de dados de sedimentos para cada período de modelagem a ser executado. Neste caso, foi considerado para a seção transversal 164 à montante os valores de entrada de sedimentos da Tabela 6 (Ver Anexos – Tabelas).

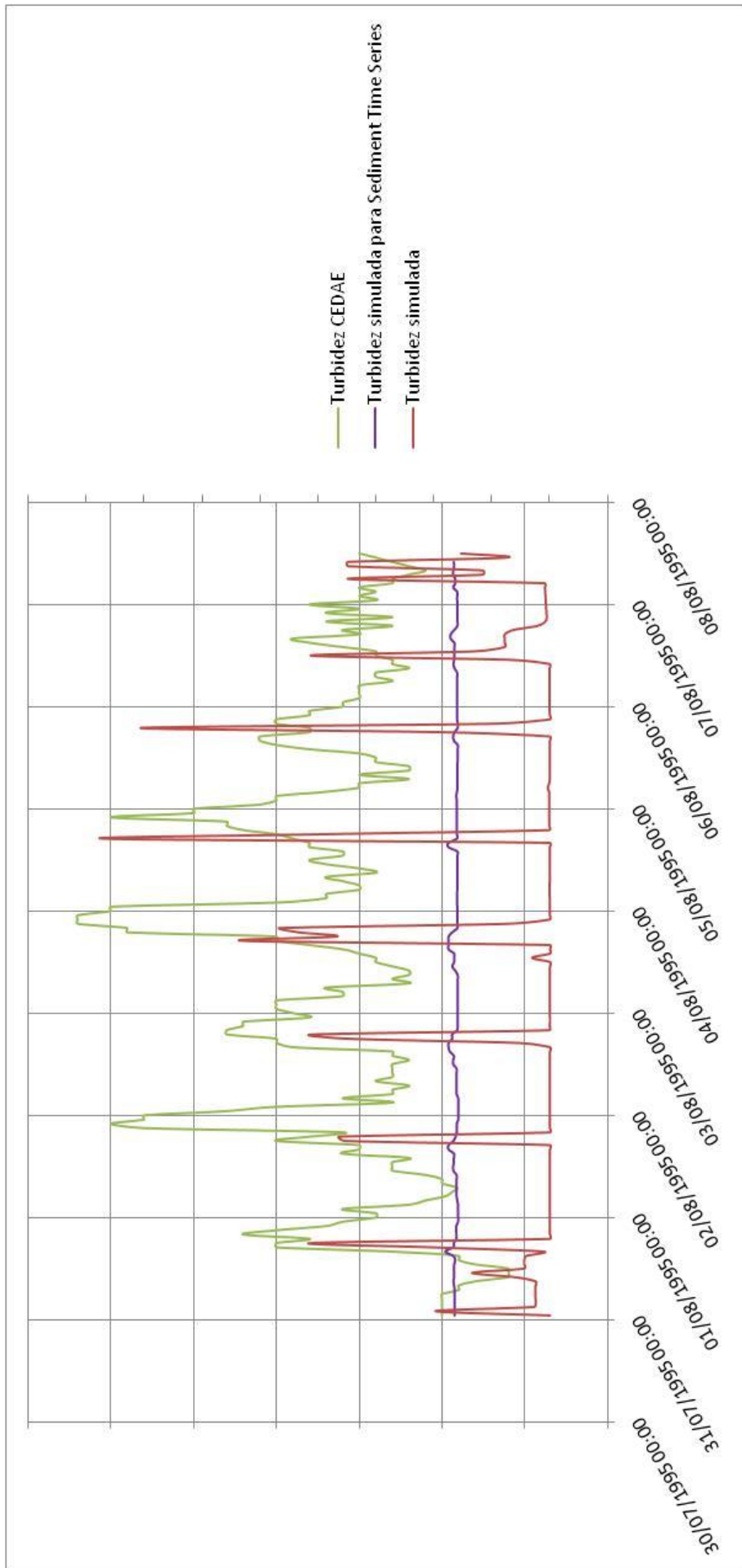


Gráfico 9: Simulação de turbidez para diferentes condições de contorno para a hipótese 3.

Mesmo testando dois tipos de condições de contorno para a montante, observa-se que ambas apresentam picos que acompanham os picos das vazões, apesar da turbidez simulada para EL apresentar os picos mais elevados que a STS.

7.2.1.4 Hipótese 4 – Confluência dos rios Cabuçu/Ipiranga, Poços/Queimados, Santana e São Pedro com o rio Guandu

Faz-se necessário verificar a influência dos rios de menor porte sobre o rio Guandu. Para os rios que desembocam no rio Guandu têm-se as seções transversais 3, 6, 70 e 89 (ver Anexos – Tabela 2).

Na quantificação de sedimentos transportados por estes rios, devido à falta de maiores informações, foi considerada a média de vazões sólidas horárias em ton/hora fracionada pela quantidade de rios, chegando a um valor de 18,55ton/hora.

A modelagem computou os resultados da seguinte forma:

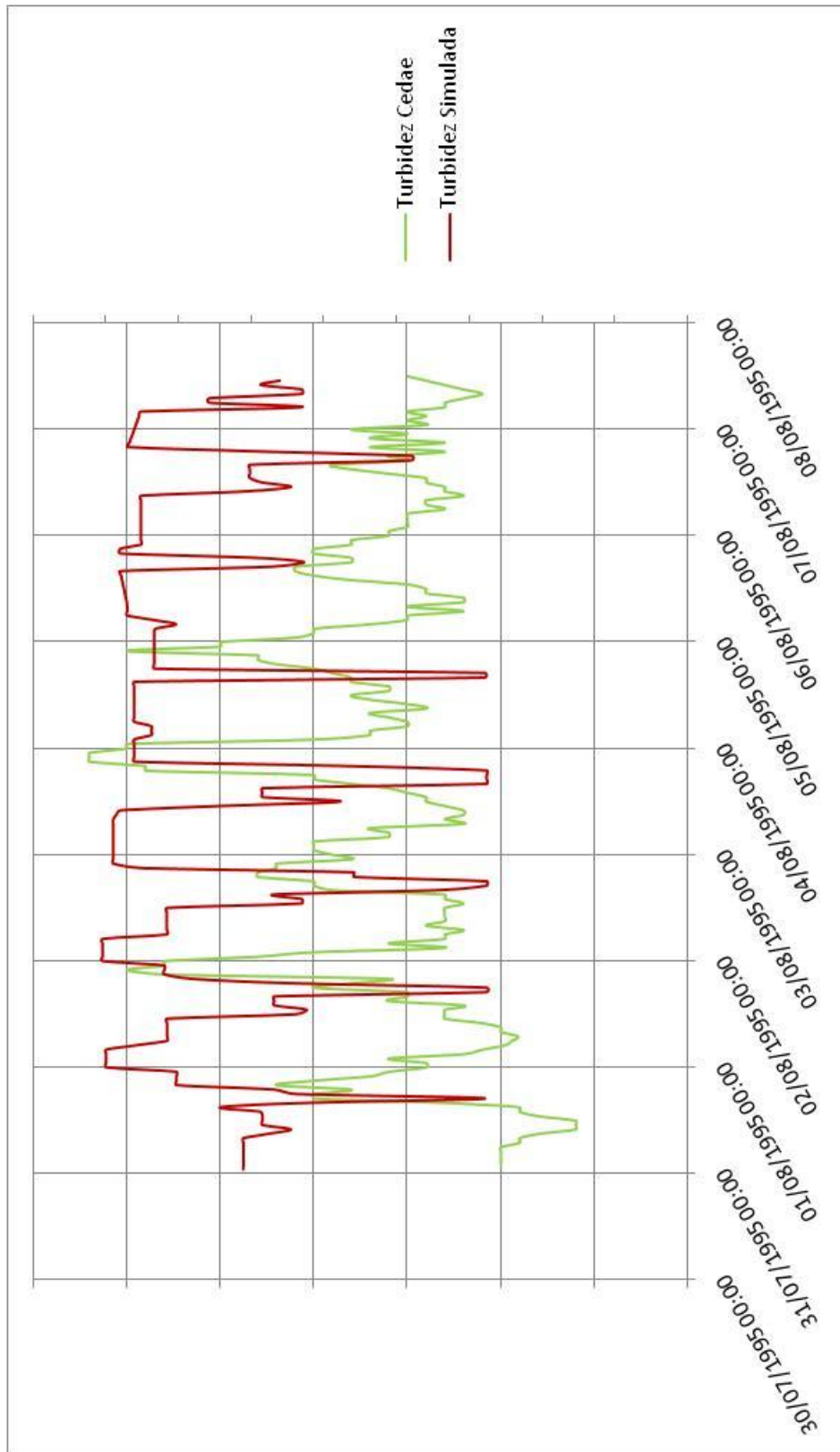


Gráfico 10: Simulação de turbidez para a hipótese 4.

Verifica-se que a modelagem apresenta semelhança nos horários de pico de turbidez, comparando ao da Cedae, apesar das amplitudes simuladas apresentarem picos menos acentuados.

Outro ponto observado é a presença de turbidez nos fins-de-semana, já que os rios seguem desembocando no rio Guandu continuamente.

7.2.1.5 Hipótese 5 – Um conjunto dos casos 1, 3 e 4

Foi pensada também a simulação de um caso em que ocorresse num mesmo período a extração dos areais, a entrada de sedimentos pela montante por causa da transposição do rio Paraíba do Sul e o contínuo despejo de sedimentos pelos poluídos rios Poços/ Queimados, Cabuçu/Ipiranga, Santana e São Pedro.

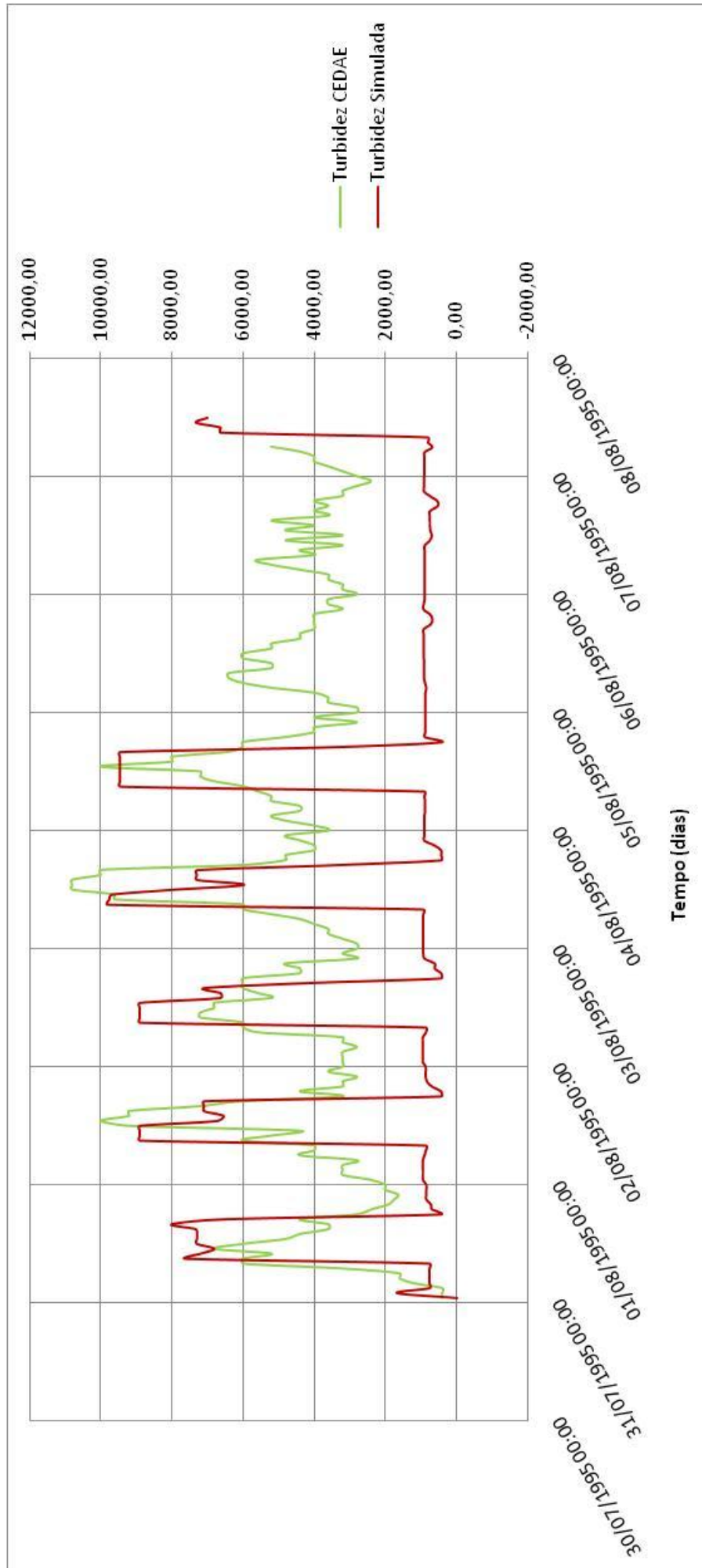


Gráfico 11: Simulação de turbidez para a hipótese 5.

A união de vários dados de entrada para a simulação da turbidez traz similaridades na fase e nos picos de amplitudes, fazendo um comparativo com a turbidez da Cedae.

Para os dias de sábado e domingo, a modelagem obteve uma turbidez bem abaixo da encontrada em dias de semana, observando que os sedimentos em suspensão provindos de areais influenciam nos resultados de turbidez para a jusante do trecho superior do rio Guandu. Os picos das amplitudes nos dias de semana também foram influenciados pela abertura da barragem, com o trânsito de sedimentos em direção à captação de águas pela Cedae.

8 Conclusão

O exercício de simulação permitiu analisar e comparar as diferentes alternativas, indicando a possibilidade de haver uma combinação de causas, mas atribuindo uma maior importância principalmente ao transporte dos sedimentos desde a Usina de Pereira Passos e aos areais próximos à jusante.

O rio Guandu apresenta uma hidrodinâmica particular. A maior parte da sua vazão é decorrente da transposição de águas do rio Paraíba do Sul que é controlada pela operação da Usina Hidrelétrica de Pereira Passos, da empresa LIGHT. Assim, a carga de sedimentos finos do rio Paraíba do Sul é também transposta (Vinzon e Cassar, 1998).

O local de captação da CEDAE no rio Guandu está constantemente sujeito ao risco de proliferação de algas que produzem microcistina, uma toxina de alto risco à saúde humana. (4) Na Lagoa do Guandu, o ambiente é propício à proliferação de algas, já que existe uma elevada carga de nutrientes dos esgotos (fósforo principalmente).

É também considerável o risco de acidentes com cargas tóxicas industriais, tanto na rotina operacional das indústrias como no transporte desse material pelas rodovias que atravessam as sub-bacias.

O despejo de esgotos domésticos, resíduos industriais e lixo na rede hidrográfica que forma os rios Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga ocorre há mais de vinte anos e vem se agravando em consequência do crescimento urbano e industrial desordenado. O tratamento dos esgotos que chegam aos rios Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga não seria suficiente para garantir a qualidade de suas águas em padrões normativos aceitáveis (até classe 3 da Resolução CONAMA357/05) ao longo do tempo, porque as vazões desses rios são muito baixas para diluir a carga residual.

Em relação à degradação da calha fluvial do rio, foram observados severos aprofundamentos no leito, alargamentos da seção transversal e formação de lagoas laterais que tiveram sua origem na extração de areia em cavas em terrenos vizinhos.

8.1 Medidas paliativas e mitigadoras

Como uma das medidas paliativas para conter a degradação atual da calha do rio Guandu, recomenda-se fortemente a proibição da mineração de areia nas margens do rio.

Em trechos que apresentam maior degradação, observaram-se diminuições importantes na velocidade do escoamento nas zonas mortas, propícias para a proliferação de plantas aquáticas, necessitando o fechamento das entradas das mesmas para evitar que esta vegetação entre no curso fluvial em épocas de chuvas.

Em relação à remoção e ressuspensão de sedimentos finos pode-se afirmar que esta será maior quando a extração de areia for feita nas margens do que quando a mesma for apenas a retirada de areia do leito do rio. Isto se deve ao fato de que o material do leito tem baixos percentuais de materiais finos, o que não ocorre em materiais consolidados das margens, onde o material fino atua normalmente como aglomerante. A exigência da utilização de caixas de decantação e a proibição das dragagens nas margens do rio são duas medidas fundamentais para a redução dos efeitos negativos da atividade de mineração de areia.

Para os areais, é necessário criar regulamentações mais rígidas para a emissão de autorizações de exploração de areais e programas de monitoramento constante, além de elaborar planos de recuperação de áreas degradadas. A fim de evitar o retorno da exploração ilegal de areia no rio Guandu, é importante a criação de um sistema de fiscalização mais eficiente e punições mais severas, e para as empresas com licenciamentos legais, que seja feita uma orientação para a exploração de forma ordenada, capacitando técnicos para isto.

Medidas mitigadoras também são importantes, tais como o reaterro das áreas degradadas (principalmente cavas junto às margens), recomposição do solo e vegetação nas áreas de cavas, restabelecimento de taludes estáveis das margens do rio e execução do replantio da mata ciliar.

A diminuição da erosão na bacia e nas margens tanto do rio Paraíba do Sul, quanto do rio Guandu, como nas áreas adjacentes dos reservatórios do sistema hidrelétrico da Light, é outra medida paliativa importante, devido aos seus múltiplos benefícios, apesar da dificuldade da sua implementação. A diminuição da perda de solos férteis assim como a diminuição de problemas de assoreamento na baía de Sepetiba são alguns dos seus benefícios adicionais.

Um aspecto que contribui significativamente tanto para o aporte de sedimentos finos quanto para as suas variações diárias são os sedimentos que podem ser

temporariamente depositados nos reservatórios do sistema Light e que seriam liberados juntamente com as vazões maiores durante as horas de maior consumo elétrico.

A medição contínua de variáveis, em particular de sedimentos em suspensão, e a utilização de modelagem numérica do transporte de sedimentos forneceriam as informações necessárias para o esclarecimento deste aspecto.

O estudo do nível de assoreamento nas barragens do sistema operado pela Light de transposição de águas do rio Paraíba do Sul, e possíveis dragagens do material depositado pode trazer múltiplos benefícios, tanto para a ETA da CEDAE, por diminuir o custo operacional da mesma, quanto para a própria empresa de eletricidade, por aumentar o volume útil de operação do reservatório.

Programas de Educação Ambiental também são de fundamental importância principalmente para as populações que vivem às margens dos rios, evitando assim que a situação se agrave ainda mais.

9 Bibliografia

1. **Vinzon, Susana Beatriz e Cassar, João Claudio Martins.** *Estudo hidrossedimentológico do Rio Guandu*. Rio de Janeiro : s.n., 1998.
2. **UFRRJ - INSTITUTO DE TECNOLOGIA.** [Online] [Citado em: 01 de 08 de 2011.] <http://www.ufrrj.br/institutos/it/it.htm>.
3. **UFFRJ, Instituto de Tecnologia -.** [Online] [Citado em: 01 de 08 de 2011.] <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm>.
4. **Dertoni, Marcos de Macedo, et al.** *RIMA - Obras de Proteção da Tomada D'água da CEDAE no Rio Guandu*. Rio de Janeiro : CEDAE.
5. **IBRAOP.** Exploração de Areais no Rio Guandu. www.ibraop.org.br/site/media/sinaop/.../exploracao_areais_rio_guandu.pdf. [Online] [Citado em: 01 de 08 de 2011.] www.ibraop.org.br/site/media/sinaop/.../exploracao_areais_rio_guandu.pdf.
6. Noncohesive Sediments Transportation Manual. [A. do livro] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. *Erosion and Sedimentation*. 2006, p. 112.
7. **SILVA, A.P (CEDAE), et al.** AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA PRODUZIDA PELA ESTAÇÃO DE. [Online] 10 de 2009. <http://www.abq.org.br/cbq/2009/trabalhos/9/9-506-6807.htm>.
8. **ALVES, ADRIANO GAMA.** AÇÕES POLUIDORAS NA BACIA DO RIO GUANDU E SUAS CONSEQÜÊNCIAS PARA ETA GUANDU. [Online] 2002. <http://www.profrios.kit.net/html/artigos/guandu01.htm>.
9. Governadora veta a APA-Guandu. *Jornal da ASEAC*.
10. **Vinzon, Susana Beatriz, Gallo, Marcos N. e Medeiros, Adriana D.** ESTUDO DAS CAUSAS DA VARIABILIDADE DOS ÍNDICES DE TURBIDEZ. p. 4.
11. **L.S.Costa, T.R.Barbosa e M.A.F.Consoli.** Distribuição espacial e temporal de cianobactérias nos afluentes do Sistema Guandu - CEDAE/RJ. 2007, p. 2.
12. **Cardoso, Cleuse Felipe Amaral.** UFRRJ. *Estudo Geológico-Geotécnicode parte do Lote 4 do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro*. [Online] 07 de 2008. [Citado em: 1 de 08 de 2011.] www.ufrrj.br/degeo/monografias/ok_cleuse.pdf.
13. **Associados, Metrólogos.** Medición de Turbidez en la Calidad del Agua. [Online] [Citado em: 01 de 06 de 2011.] www.metass.com.mx/guametas/La-Guia-MetAs-10-01-Turbidez.pdf.
14. *Fundação Centro Tecnológico da Hidráulica.* [Online] 2007. [Citado em: 01 de 08 de 2011.] <http://www.fcth.br/public/cursos/phd5023/transpsolido.pdf>.

15. **Engineers, US Army Corps of.** HEC-RAS River Analysis System. *Hydraulic Reference Manual*. 01 de 2010.
16. Terra, Universo de Vida. s.l. : Porto Editora.
17. **Globo, O.** Rio Guandu perderá sua função principal de abastecimento de água. s.l. : Globo, 2008.

10 Anexos

A seguir, são apresentadas as tabelas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

10.1 Tabelas

Tabela 2: Localização descritiva das seções transversais da ETA até a usina de Pereira Passos do rio Guandu empregadas no HECRAS.

Seção	Distância (m)	Cota de fundo (m)	Localização mapa
1	0	4.5	Captação ETA - CEDAE
2	250	4.561	
3	500	4.623	Confluência com o 'Rio Cabuçu/ Ipiranga
4	750	3.53	
5	1000	1.529	
6	1250	-0.472	Confluência com o Rio Poços/ Queimados
7	1500	-0.962	
8	1750	-0.91	
9	2000	-0.858	
10	2250	-0.806	
11	2500	-0.754	
12	2750	-0.702	Extração de areia
13	3000	0.04	
14	3250	0.813	
15	3500	1.587	
16	3750	2.315	Extração de areia
17	4000	2.868	
18	4250	3.421	Extração de areia
19	4500	3.974	
20	4750	4.527	Extração de areia
21	5000	4.836	
22	5250	5.033	
23	5500	5.23	
24	5750	5.427	

25	6000	5.608	
26	6250	5.781	
27	6500	5.953	
28	6750	6.126	
29	7000	6.299	Extração de areia
30	7250	6.65	
31	7500	7.002	
32	7750	7.355	Extração de areia
33	8000	7.52	Extração de areia
34	8250	7.553	
35	8500	7.586	
36	8750	7.635	Fazenda dos Mineiros
37	9000	7.694	
38	9250	7.753	Extração de areia
39	9500	7.812	
40	9750	7.934	
41	10000	8.165	
42	10250	8.397	
43	10500	8.628	
44	10750	8.986	
45	11000	9.485	
46	11250	9.984	
47	11500	10.366	
48	11750	10.545	
49	12000	10.724	
50	12250	11.508	
51	12500	12.397	
52	12750	13.286	
53	13000	13.113	
54	13250	12.923	
55	13500	12.732	
56	13750	12.542	
57	14000	12.536	
58	14250	12.703	
59	14500	12.87	
60	14750	12.839	
61	15000	12.106	

62	15250	11.374	
63	15500	10.678	
64	15750	13.017	
65	16000	15.356	
66	16250	15.181	
67	16500	13.275	
68	16750	12.782	
69	17000	14.556	
70	17250	16.331	Confluência com Rio São Pedro
71	17500	16.967	
72	17750	17.251	
73	18000	17.536	
74	18250	16.908	
75	18500	16.112	
76	18750	15.316	
77	19000	15.836	
78	19250	16.703	
79	19500	16.931	
80	19750	16.479	
81	20000	16.027	Jusante do município de Japeri
82	20250	16.32	
83	20500	16.904	
84	20750	17.488	
85	21000	18.013	
86	21250	18.443	
87	21500	18.873	
88	21750	19.303	
89	22000	19.652	Confluência Rio Santana
90	22250	19.82	Montante do município de Japeri
91	22500	19.988	
92	22750	20.042	
93	23000	20.087	
94	23250	20.132	
95	23500	20.808	
96	23750	21.882	
97	24000	22.1	
98	24250	21.959	
99	24500	22.886	
100	24750	23.881	

101	25000	24.694	
102	25250	25.42	
103	25500	25.956	
104	25750	26.284	
105	26000	26.613	
106	26250	26.941	
107	26500	26.727	
108	26750	26.393	
109	27000	26.193	
110	27250	26.176	
111	27500	26.16	
112	27750	26.139	próximo ao município de Paracambi
113	28000	26.113	
114	28250	26.264	
115	28500	26.588	
116	28750	27.247	
117	29000	28.08	
118	29250	28.913	
119	29500	29.281	
120	29750	29.246	
121	30000	29.211	
122	30250	29.332	
123	30500	29.526	
124	30750	29.719	
125	31000	29.91	
126	31250	30.06	
127	31500	30.209	
128	31750	30.359	
129	32000	30.51	
130	32250	30.682	
131	32500	30.855	
132	32750	31.028	
133	33000	31.236	
134	33250	31.471	
135	33500	31.706	
136	33750	31.971	
137	34000	32.382	
138	34250	32.794	
139	34500	33.205	
140	34750	33.617	

141	35000	34.091	
142	35250	34.702	
143	35500	35.314	
144	35750	35.926	
145	36000	36.537	
146	36250	37.159	
147	36500	37.895	
148	36750	38.632	
149	37000	39.369	
150	37250	40.105	
151	37500	40.78	
152	37750	41.327	
153	38000	41.874	
154	38250	42.182	
155	38500	42.322	
156	38750	42.462	
157	39000	42.606	
158	39250	43.139	
159	39500	43.671	
160	39750	44.203	
161	40000	44.067	
162	40250	44.35	
163	40500	44.878	
164	40750	45.406	UHE Pereira Passos

Tabela 3: Valores para o coeficiente de Manning

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior porém c/ pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espaiadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espaiadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Porto (1998) e Cirilo et al. (2001)

Tabela 4: Tabela com dados de entrada para as seções transversais (coordenadas horizontais - eixo x). Dados de seção transversal trabalhados a partir de batimetria realizada (Vinzon & Cassar, Estudo hidrossedimentológico do Rio Guandu, 1998).

Seção	extrema margem esq (m)	margem esq (m)	fundo esq (m)	eixo central (m)	fundo dir (m)	margem dir (m)	extrema margem dir (m)
1	503.250	523.250	583.25	600	616.750	658.750	678.750
2	507.248	527.248	582.94	600	617.058	657.213	677.213
3	511.245	531.245	582.64	600	617.365	655.675	675.675
4	516.672	536.672	584.09	600	615.914	650.444	670.444
5	523.225	543.225	586.92	600	613.081	642.301	662.301
6	529.777	549.777	589.75	600	610.248	634.143	654.143
7	532.080	552.080	590.40	600	609.596	634.001	654.001
8	532.850	552.850	590.27	600	609.726	636.726	656.726
9	533.635	553.635	590.15	600	609.855	639.450	659.450
10	534.405	554.405	590.02	600	609.985	642.175	662.175
11	535.191	555.191	589.89	600	610.115	644.900	664.900
12	535.961	555.961	589.76	600	610.245	647.625	667.625
13	533.453	553.453	587.77	600	612.227	647.432	667.432

14	530.786	550.786	585.71	600	614.295	647.100	667.100
15	528.118	548.118	583.64	600	616.363	646.768	666.768
16	525.497	545.497	581.63	600	618.368	646.178	666.178
17	523.067	543.067	579.86	600	620.138	644.633	664.633
18	520.622	540.622	578.09	600	621.908	643.088	663.088
19	518.192	538.192	576.32	600	623.678	641.528	661.528
20	515.762	535.762	574.55	600	625.448	639.983	659.983
21	473.142	493.142	532.65	600	667.348	683.638	703.638
22	412.309	432.309	472.55	600	727.447	747.802	767.802
23	351.475	371.475	412.46	600	787.545	811.965	831.965
24	290.627	310.627	352.36	600	847.644	876.129	896.129
25	300.720	320.720	362.10	600	837.896	865.871	885.871
26	352.801	372.801	413.23	600	786.774	811.509	831.509
27	404.898	424.898	464.35	600	735.653	757.148	777.148
28	456.995	476.995	515.47	600	684.531	702.786	722.786
29	509.076	529.076	566.59	600	633.409	648.439	668.439
30	520.422	540.422	570.50	600	629.503	646.693	666.693
31	531.448	551.448	574.02	600	625.978	645.373	665.373
32	542.458	562.458	577.55	600	622.453	644.038	664.038
33	542.872	562.872	579.15	600	620.853	644.823	664.823
34	535.863	555.863	579.40	600	620.603	647.078	667.078
35	528.853	548.853	579.65	600	620.352	649.332	669.332
36	528.660	548.660	579.79	600	620.215	649.690	669.690
37	533.159	553.159	579.84	600	620.156	648.746	668.746
38	537.644	557.644	579.90	600	620.097	647.802	667.802
39	542.143	562.143	579.96	600	620.038	646.858	666.858
40	544.108	564.108	579.81	600	620.187	646.782	666.782
41	541.674	561.674	579.30	600	620.701	648.271	668.271
42	539.225	559.225	578.79	600	621.215	649.745	669.745
43	536.792	556.792	578.27	600	621.729	651.219	671.219
44	534.037	554.037	578.25	600	621.753	654.033	674.033
45	530.931	550.931	578.77	600	621.230	658.340	678.340
46	527.839	547.839	579.29	600	620.706	662.646	682.646
47	525.018	545.018	579.86	600	620.138	664.583	684.583
48	522.679	542.679	580.51	600	619.492	662.452	682.452
49	520.340	540.340	581.15	600	618.846	660.321	680.321
50	518.399	538.399	578.54	600	621.461	659.366	679.366
51	516.523	536.523	575.36	600	624.643	658.633	678.633
52	514.661	534.661	572.18	600	627.824	657.884	677.884
53	512.673	532.673	572.65	600	627.352	657.352	677.352
54	510.685	530.685	573.18	600	626.821	656.821	676.821
55	508.696	528.696	573.71	600	626.289	656.289	676.289
56	506.708	526.708	574.24	600	625.758	655.758	675.758
57	509.970	529.970	574.61	600	625.391	656.336	676.336
58	518.147	538.147	574.82	600	625.178	657.938	677.938
59	526.325	546.325	575.03	600	624.966	659.541	679.541
60	531.737	551.737	575.27	600	624.728	660.323	680.323
61	527.400	547.400	575.60	600	624.401	658.121	678.121
62	523.047	543.047	575.93	600	624.074	655.919	675.919
63	518.860	538.860	576.25	600	623.746	653.776	673.776
64	528.553	548.553	576.65	600	623.353	656.488	676.488
65	538.245	558.245	577.04	600	622.960	659.200	679.200
66	534.645	554.645	581.70	600	618.296	655.796	675.796
67	521.868	541.868	589.31	600	610.687	648.187	668.187
68	516.533	536.533	589.93	600	610.067	649.772	669.772
69	523.116	543.116	579.34	600	620.659	666.079	686.079
70	529.700	549.700	568.75	600	631.251	682.401	702.401
71	525.302	545.302	568.15	600	631.853	681.608	701.608

72	517.510	537.510	570.63	600	629.370	675.525	695.525
73	509.718	529.718	573.11	600	626.888	669.443	689.443
74	506.146	526.146	569.08	600	630.925	672.925	692.925
75	503.363	523.363	563.83	600	636.167	678.167	698.167
76	500.581	520.581	558.59	600	641.410	683.410	703.410
77	508.580	528.580	564.53	600	635.466	683.646	703.646
78	519.412	539.412	573.42	600	626.583	682.563	702.563
79	520.172	540.172	580.52	600	619.479	682.104	702.104
80	510.187	530.187	585.73	600	614.269	682.324	702.324
81	500.201	520.201	590.94	600	609.059	682.544	702.544
82	504.151	524.151	587.84	600	612.160	722.725	742.725
83	513.539	533.539	581.51	600	618.492	778.467	798.467
84	522.926	542.926	575.18	600	624.824	834.194	854.194
85	525.255	545.255	572.09	600	627.910	863.425	883.425
86	516.035	536.035	574.30	600	625.700	849.440	869.440
87	506.831	526.831	576.51	600	623.490	835.440	855.440
88	497.626	517.626	578.72	600	621.280	821.440	841.440
89	495.971	515.971	578.96	600	621.044	801.779	821.779
90	511.314	531.314	574.75	600	625.246	769.426	789.426
91	526.643	546.643	570.55	600	629.448	737.073	757.073
92	514.114	534.114	573.40	600	626.602	723.202	743.202
93	499.401	519.401	576.79	600	623.209	710.764	730.764
94	484.704	504.704	580.18	600	619.817	698.327	718.327
95	483.813	503.813	574.28	600	625.717	707.932	727.932
96	491.671	511.671	562.49	600	637.510	731.515	751.515
97	423.760	443.760	554.61	600	645.390	727.920	747.920
98	323.984	343.984	548.37	600	651.626	712.901	732.901
99	403.784	423.784	555.80	600	644.202	707.322	727.322
100	495.045	515.045	564.10	600	635.905	702.340	722.340
101	518.967	538.967	566.10	600	633.898	697.693	717.693
102	511.220	531.220	565.15	600	634.851	693.201	713.201
103	510.448	530.448	566.00	600	634.003	687.163	707.163
104	517.389	537.389	568.83	600	631.172	679.412	699.412
105	524.315	544.315	571.66	600	628.341	671.646	691.646
106	531.256	551.256	574.49	600	625.510	663.895	683.895
107	517.462	537.462	580.47	600	619.534	654.469	674.469
108	499.139	519.139	587.13	600	612.867	644.682	664.682
109	495.649	515.649	590.84	600	609.157	639.157	659.157
110	512.691	532.691	590.47	600	609.530	639.530	659.530
111	529.718	549.718	590.10	600	609.903	639.903	659.903
112	542.140	562.140	588.94	600	611.056	641.056	661.056
113	547.727	567.727	586.64	600	613.358	643.358	663.358
114	549.344	569.344	585.36	600	614.637	644.637	664.637
115	547.048	567.048	585.09	600	614.907	644.907	664.907
116	481.432	501.432	582.48	600	617.523	652.878	672.878
117	382.636	402.636	578.63	600	621.369	664.899	684.899
118	283.840	303.840	574.78	600	625.216	676.921	696.921
119	271.595	291.595	571.41	600	628.595	689.165	709.165
120	334.274	354.274	568.43	600	631.572	701.592	721.592
121	396.938	416.938	565.45	600	634.548	714.018	734.018
122	413.759	433.759	565.49	600	634.512	709.677	729.677
123	408.972	428.972	566.94	600	633.058	697.423	717.423
124	404.201	424.201	568.40	600	631.605	685.170	705.170
125	401.759	421.759	569.55	600	630.446	677.531	697.531
126	431.416	451.416	566.68	600	633.325	733.120	753.120
127	461.057	481.057	563.80	600	636.204	788.724	808.724
128	490.713	510.713	560.92	600	639.083	844.313	864.313
129	519.022	539.022	558.45	600	641.554	893.299	913.299

130	524.713	544.713	562.85	600	637.152	830.637	850.637
131	530.405	550.405	567.25	600	632.751	767.976	787.976
132	536.112	556.112	571.65	600	628.349	705.314	725.314
133	535.865	555.865	573.42	600	626.585	682.910	702.910
134	531.308	551.308	573.27	600	626.732	689.657	709.657
135	526.767	546.767	573.12	600	626.879	696.419	716.419
136	522.877	542.877	573.57	600	626.434	703.294	723.294
137	522.164	542.164	576.86	600	623.142	710.802	730.802
138	521.436	541.436	580.15	600	619.850	718.310	738.310
139	520.723	540.723	583.44	600	616.557	725.817	745.817
140	519.995	539.995	586.74	600	613.265	733.340	753.340
141	517.535	537.535	589.00	600	611.000	735.815	755.815
142	511.220	531.220	589.00	600	611.000	727.220	747.220
143	504.920	524.920	589.00	600	611.000	718.610	738.610
144	498.605	518.605	589.00	600	611.000	710.015	730.015
145	492.305	512.305	589.00	600	611.000	701.420	721.420
146	487.491	507.491	588.85	600	611.149	692.764	712.764
147	499.834	519.834	586.99	600	613.012	683.587	703.587
148	512.177	532.177	585.13	600	614.874	674.394	694.394
149	524.519	544.519	583.26	600	616.736	665.201	685.201
150	536.862	556.862	581.40	600	618.599	656.024	676.024
151	528.344	548.344	581.30	600	618.701	649.601	669.601
152	477.098	497.098	584.80	600	615.197	648.827	668.827
153	425.867	445.867	588.31	600	611.694	648.069	668.069
154	408.575	428.575	588.64	600	611.360	643.925	663.925
155	415.073	435.073	586.75	600	613.248	637.428	657.428
156	421.570	441.570	584.87	600	615.135	630.930	650.930
157	428.364	448.364	582.96	600	617.042	624.827	644.827
158	458.766	478.766	579.49	600	620.510	652.490	672.490
159	489.168	509.168	576.02	600	623.977	680.152	700.152
160	519.570	539.570	572.56	600	627.445	707.815	727.815
161	527.738	547.738	570.06	600	629.943	688.323	708.323
162	529.892	549.892	570.77	600	629.229	672.369	692.369
163	530.099	550.099	573.06	600	626.937	660.492	680.492
164	530.305	550.305	575.36	600	624.645	648.615	668.615

Tabela 5: Tabela com dados inseridos para o eixo y e das seções transversais. Dados de seção transversal trabalhados a partir de batimetria realizada. RN obtido do sistema altimétrico do IBGE (1).

Seção	extrema margem esq (m)	margem esq (m)	fundo esq (m)	eixo central (m)	fundo dir (m)	margem dir (m)	extrema margem dir (m)
1	19.500	19.500	4.500	4.500	4.500	19.500	19.500
2	19.561	19.561	4.561	4.561	4.561	19.561	19.561
3	19.623	19.623	4.623	4.623	4.623	19.623	19.623
4	18.530	18.530	3.530	3.530	3.530	18.530	18.530
5	16.529	16.529	1.529	1.529	1.529	16.529	16.529
6	14.528	14.528	-0.472	-0.472	-0.472	14.528	14.528
7	14.038	14.038	-0.962	-0.962	-0.962	14.038	14.038
8	14.090	14.090	-0.910	-0.910	-0.910	14.090	14.090
9	14.142	14.142	-0.858	-0.858	-0.858	14.142	14.142
10	14.194	14.194	-0.806	-0.806	-0.806	14.194	14.194
11	14.246	14.246	-0.754	-0.754	-0.754	14.246	14.246
12	14.298	14.298	-0.702	-0.702	-0.702	14.298	14.298
13	15.040	15.040	0.040	0.040	0.040	15.040	15.040

14	15.813	15.813	0.813	0.813	0.813	15.813	15.813
15	16.587	16.587	1.587	1.587	1.587	16.587	16.587
16	17.315	17.315	2.315	2.315	2.315	17.315	17.315
17	17.868	17.868	2.868	2.868	2.868	17.868	17.868
18	18.421	18.421	3.421	3.421	3.421	18.421	18.421
19	18.974	18.974	3.974	3.974	3.974	18.974	18.974
20	19.527	19.527	4.527	4.527	4.527	19.527	19.527
21	19.836	19.836	4.836	4.836	4.836	19.836	19.836
22	20.033	20.033	5.033	5.033	5.033	20.033	20.033
23	20.230	20.230	5.230	5.230	5.230	20.230	20.230
24	20.427	20.427	5.427	5.427	5.427	20.427	20.427
25	20.608	20.608	5.608	5.608	5.608	20.608	20.608
26	20.781	20.781	5.781	5.781	5.781	20.781	20.781
27	20.953	20.953	5.953	5.953	5.953	20.953	20.953
28	21.126	21.126	6.126	6.126	6.126	21.126	21.126
29	21.299	21.299	6.299	6.299	6.299	21.299	21.299
30	21.650	21.650	6.650	6.650	6.650	21.650	21.650
31	22.002	22.002	7.002	7.002	7.002	22.002	22.002
32	22.355	22.355	7.355	7.355	7.355	22.355	22.355
33	22.520	22.520	7.520	7.520	7.520	22.520	22.520
34	22.553	22.553	7.553	7.553	7.553	22.553	22.553
35	22.586	22.586	7.586	7.586	7.586	22.586	22.586
36	22.635	22.635	7.635	7.635	7.635	22.635	22.635
37	22.694	22.694	7.694	7.694	7.694	22.694	22.694
38	22.753	22.753	7.753	7.753	7.753	22.753	22.753
39	22.812	22.812	7.812	7.812	7.812	22.812	22.812
40	22.934	22.934	7.934	7.934	7.934	22.934	22.934
41	23.165	23.165	8.165	8.165	8.165	23.165	23.165
42	23.397	23.397	8.397	8.397	8.397	23.397	23.397
43	23.628	23.628	8.628	8.628	8.628	23.628	23.628
44	23.986	23.986	8.986	8.986	8.986	23.986	23.986
45	24.485	24.485	9.485	9.485	9.485	24.485	24.485
46	24.984	24.984	9.984	9.984	9.984	24.984	24.984
47	25.366	25.366	10.366	10.366	10.366	25.366	25.366
48	25.545	25.545	10.545	10.545	10.545	25.545	25.545
49	25.724	25.724	10.724	10.724	10.724	25.724	25.724
50	26.508	26.508	11.508	11.508	11.508	26.508	26.508
51	27.397	27.397	12.397	12.397	12.397	27.397	27.397
52	28.286	28.286	13.286	13.286	13.286	28.286	28.286
53	28.113	28.113	13.113	13.113	13.113	28.113	28.113
54	27.923	27.923	12.923	12.923	12.923	27.923	27.923
55	27.732	27.732	12.732	12.732	12.732	27.732	27.732
56	27.542	27.542	12.542	12.542	12.542	27.542	27.542
57	27.536	27.536	12.536	12.536	12.536	27.536	27.536
58	27.703	27.703	12.703	12.703	12.703	27.703	27.703
59	27.870	27.870	12.870	12.870	12.870	27.870	27.870
60	27.839	27.839	12.839	12.839	12.839	27.839	27.839
61	27.106	27.106	12.106	12.106	12.106	27.106	27.106
62	26.374	26.374	11.374	11.374	11.374	26.374	26.374
63	25.678	25.678	10.678	10.678	10.678	25.678	25.678
64	28.017	28.017	13.017	13.017	13.017	28.017	28.017
65	30.356	30.356	15.356	15.356	15.356	30.356	30.356

66	30.181	30.181	15.181	15.181	15.181	30.181	30.181
67	28.275	28.275	13.275	13.275	13.275	28.275	28.275
68	27.782	27.782	12.782	12.782	12.782	27.782	27.782
69	29.556	29.556	14.556	14.556	14.556	29.556	29.556
70	31.331	31.331	16.331	16.331	16.331	31.331	31.331
71	31.967	31.967	16.967	16.967	16.967	31.967	31.967
72	32.251	32.251	17.251	17.251	17.251	32.251	32.251
73	32.536	32.536	17.536	17.536	17.536	32.536	32.536
74	31.908	31.908	16.908	16.908	16.908	31.908	31.908
75	31.112	31.112	16.112	16.112	16.112	31.112	31.112
76	30.316	30.316	15.316	15.316	15.316	30.316	30.316
77	30.836	30.836	15.836	15.836	15.836	30.836	30.836
78	31.703	31.703	16.703	16.703	16.703	31.703	31.703
79	31.931	31.931	16.931	16.931	16.931	31.931	31.931
80	31.479	31.479	16.479	16.479	16.479	31.479	31.479
81	31.027	31.027	16.027	16.027	16.027	31.027	31.027
82	31.320	31.320	16.320	16.320	16.320	31.320	31.320
83	31.904	31.904	16.904	16.904	16.904	31.904	31.904
84	32.488	32.488	17.488	17.488	17.488	32.488	32.488
85	33.013	33.013	18.013	18.013	18.013	33.013	33.013
86	33.443	33.443	18.443	18.443	18.443	33.443	33.443
87	33.873	33.873	18.873	18.873	18.873	33.873	33.873
88	34.303	34.303	19.303	19.303	19.303	34.303	34.303
89	34.652	34.652	19.652	19.652	19.652	34.652	34.652
90	34.820	34.820	19.820	19.820	19.820	34.820	34.820
91	34.988	34.988	19.988	19.988	19.988	34.988	34.988
92	35.042	35.042	20.042	20.042	20.042	35.042	35.042
93	35.087	35.087	20.087	20.087	20.087	35.087	35.087
94	35.132	35.132	20.132	20.132	20.132	35.132	35.132
95	35.808	35.808	20.808	20.808	20.808	35.808	35.808
96	36.882	36.882	21.882	21.882	21.882	36.882	36.882
97	37.100	37.100	22.100	22.100	22.100	37.100	37.100
98	36.959	36.959	21.959	21.959	21.959	36.959	36.959
99	37.886	37.886	22.886	22.886	22.886	37.886	37.886
100	38.881	38.881	23.881	23.881	23.881	38.881	38.881
101	39.694	39.694	24.694	24.694	24.694	39.694	39.694
102	40.420	40.420	25.420	25.420	25.420	40.420	40.420
103	40.956	40.956	25.956	25.956	25.956	40.956	40.956
104	41.284	41.284	26.284	26.284	26.284	41.284	41.284
105	41.613	41.613	26.613	26.613	26.613	41.613	41.613
106	41.941	41.941	26.941	26.941	26.941	41.941	41.941
107	41.727	41.727	26.727	26.727	26.727	41.727	41.727
108	41.393	41.393	26.393	26.393	26.393	41.393	41.393
109	41.193	41.193	26.193	26.193	26.193	41.193	41.193
110	41.176	41.176	26.176	26.176	26.176	41.176	41.176
111	41.160	41.160	26.160	26.160	26.160	41.160	41.160
112	41.139	41.139	26.139	26.139	26.139	41.139	41.139
113	41.113	41.113	26.113	26.113	26.113	41.113	41.113
114	41.264	41.264	26.264	26.264	26.264	41.264	41.264
115	41.588	41.588	26.588	26.588	26.588	41.588	41.588
116	42.247	42.247	27.247	27.247	27.247	42.247	42.247
117	43.080	43.080	28.080	28.080	28.080	43.080	43.080

118	43.913	43.913	28.913	28.913	28.913	43.913	43.913
119	44.281	44.281	29.281	29.281	29.281	44.281	44.281
120	44.246	44.246	29.246	29.246	29.246	44.246	44.246
121	44.211	44.211	29.211	29.211	29.211	44.211	44.211
122	44.332	44.332	29.332	29.332	29.332	44.332	44.332
123	44.526	44.526	29.526	29.526	29.526	44.526	44.526
124	44.719	44.719	29.719	29.719	29.719	44.719	44.719
125	44.910	44.910	29.910	29.910	29.910	44.910	44.910
126	45.060	45.060	30.060	30.060	30.060	45.060	45.060
127	45.209	45.209	30.209	30.209	30.209	45.209	45.209
128	45.359	45.359	30.359	30.359	30.359	45.359	45.359
129	45.510	45.510	30.510	30.510	30.510	45.510	45.510
130	45.682	45.682	30.682	30.682	30.682	45.682	45.682
131	45.855	45.855	30.855	30.855	30.855	45.855	45.855
132	46.028	46.028	31.028	31.028	31.028	46.028	46.028
133	46.236	46.236	31.236	31.236	31.236	46.236	46.236
134	46.471	46.471	31.471	31.471	31.471	46.471	46.471
135	46.706	46.706	31.706	31.706	31.706	46.706	46.706
136	46.971	46.971	31.971	31.971	31.971	46.971	46.971
137	47.382	47.382	32.382	32.382	32.382	47.382	47.382
138	47.794	47.794	32.794	32.794	32.794	47.794	47.794
139	48.205	48.205	33.205	33.205	33.205	48.205	48.205
140	48.617	48.617	33.617	33.617	33.617	48.617	48.617
141	49.091	49.091	34.091	34.091	34.091	49.091	49.091
142	49.702	49.702	34.702	34.702	34.702	49.702	49.702
143	50.314	50.314	35.314	35.314	35.314	50.314	50.314
144	50.926	50.926	35.926	35.926	35.926	50.926	50.926
145	51.537	51.537	36.537	36.537	36.537	51.537	51.537
146	52.159	52.159	37.159	37.159	37.159	52.159	52.159
147	52.895	52.895	37.895	37.895	37.895	52.895	52.895
148	53.632	53.632	38.632	38.632	38.632	53.632	53.632
149	54.369	54.369	39.369	39.369	39.369	54.369	54.369
150	55.105	55.105	40.105	40.105	40.105	55.105	55.105
151	55.780	55.780	40.780	40.780	40.780	55.780	55.780
152	56.327	56.327	41.327	41.327	41.327	56.327	56.327
153	56.874	56.874	41.874	41.874	41.874	56.874	56.874
154	57.182	57.182	42.182	42.182	42.182	57.182	57.182
155	57.322	57.322	42.322	42.322	42.322	57.322	57.322
156	57.462	57.462	42.462	42.462	42.462	57.462	57.462
157	57.606	57.606	42.606	42.606	42.606	57.606	57.606
158	58.139	58.139	43.139	43.139	43.139	58.139	58.139
159	58.671	58.671	43.671	43.671	43.671	58.671	58.671
160	59.203	59.203	44.203	44.203	44.203	59.203	59.203
161	59.067	59.067	44.067	44.067	44.067	59.067	59.067
162	59.350	59.350	44.350	44.350	44.350	59.350	59.350
163	59.878	59.878	44.878	44.878	44.878	59.878	59.878
164	60.406	60.406	45.406	45.406	45.406	60.406	60.406

Tabela 6: Condições de contorno - Dados de vazão líquida e de sedimento utilizados para modelagem em escoamento quase-permanente. Os dados abaixo foram trabalhados a partir dos dados do Relatório Final de Estudo Hidrossedimentológico do Rio Guandu (1)

DIA DA SEMANA	DIA E HORA	HORA ACUM	VAZÃO MONTANTE (m3/s) (UHE PEREIRA PASSOS)	ENTRADA DE SEDIMENTOS À MONTANTE (ton/h)	NÍVEL JUSANTE (m) (CAPTAÇÃO CEDAE)	SEDIMENTO SUSPENSÃO DEVIDO AO FUNCIONAMENTO AREAIS (ton/h)
Segunda-feira	31/7/95 0:00	0	145.41	21.99	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 1:00	1	145.4	21.98	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 2:00	2	145.4	21.98	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 3:00	3	145.4	21.98	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 4:00	4	145.4	21.98	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 5:00	5	145.4	21.98	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 6:00	6	145.4	21.98	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 7:00	7	145.4	21.98	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 8:00	8	145.4	21.98	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 9:00	9	154.3	23.33	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 10:00	10	163.4	24.71	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 11:00	11	152.1	23.00	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 12:00	12	152.1	23.00	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 13:00	13	152.1	23.00	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 14:00	14	151.23	22.87	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 15:00	15	138.04	20.87	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 16:00	16	170.52	25.78	11.895	127.2
Segunda-feira	31/7/95 17:00	17	328.1	49.61	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 18:00	18	165.7	25.05	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 19:00	19	156.6	23.68	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 20:00	20	125.8	19.02	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 21:00	21	125.8	19.02	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 22:00	22	125.8	19.02	11.895	0
Segunda-feira	31/7/95 23:00	23	125.8	19.02	11.895	0
Segunda-feira	1/8/95 0:00	24	109.9	16.62	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 1:00	25	109.9	16.62	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 2:00	26	109.9	16.62	11.895	0

Terça-feira	1/8/95 3:00	27	109.9	16.62	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 4:00	28	109.9	16.62	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 5:00	29	116.38	17.60	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 6:00	30	123.4	18.66	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 7:00	31	123.4	18.66	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 8:00	32	123.4	18.66	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 9:00	33	123.4	18.66	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 10:00	34	123.4	18.66	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 11:00	35	123.4	18.66	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 12:00	36	165.7	25.05	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 13:00	37	170.4	25.76	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 14:00	38	156.6	23.68	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 15:00	39	156.6	23.68	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 16:00	40	156.6	23.68	11.895	127.2
Terça-feira	1/8/95 17:00	41	328.1	49.61	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 18:00	42	328.1	49.61	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 19:00	43	163.4	24.71	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 20:00	44	130.026	19.66	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 21:00	45	122.7	18.55	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 22:00	46	122.7	18.55	11.895	0
Terça-feira	1/8/95 23:00	47	122.7	18.55	11.895	0
Terça-feira	2/8/95 0:00	48	109.2	16.51	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 1:00	49	109.2	16.51	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 2:00	50	109.2	16.51	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 3:00	51	109.2	16.51	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 4:00	52	109.2	16.51	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 5:00	53	109.2	16.51	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 6:00	54	123.4	18.66	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 7:00	55	123.4	18.66	11.895	0
Quarta-	2/8/95	56	123.4	18.66	11.895	127.2

feira	8:00					
Quarta-feira	2/8/95 9:00	57	123.4	18.66	11.895	127.2
Quarta-feira	2/8/95 10:00	58	123.4	18.66	11.895	127.2
Quarta-feira	2/8/95 11:00	59	123.4	18.66	11.895	127.2
Quarta-feira	2/8/95 12:00	60	123.4	18.66	11.895	127.2
Quarta-feira	2/8/95 13:00	61	168.1	25.42	11.895	127.2
Quarta-feira	2/8/95 14:00	62	168.1	25.42	11.895	127.2
Quarta-feira	2/8/95 15:00	63	156.6	23.68	11.895	127.2
Quarta-feira	2/8/95 16:00	64	262.93	39.76	11.895	127.2
Quarta-feira	2/8/95 17:00	65	328.1	49.61	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 18:00	66	328.1	49.61	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 19:00	67	194.8	29.45	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 20:00	68	194.8	29.45	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 21:00	69	117.3	17.74	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 22:00	70	111.4	16.84	11.895	0
Quarta-feira	2/8/95 23:00	71	111.4	16.84	11.895	0
Quarta-feira	3/8/95 0:00	72	111.4	16.84	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 1:00	73	111.4	16.84	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 2:00	74	111.4	16.84	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 3:00	75	111.4	16.84	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 4:00	76	111.4	16.84	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 5:00	77	111.4	16.84	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 6:00	78	111.4	16.84	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 7:00	79	111.4	16.84	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 8:00	80	111.4	16.84	11.895	127.2
Quinta-feira	3/8/95 9:00	81	112.0398	16.94	11.895	127.2
Quinta-feira	3/8/95 10:00	82	112.9163	17.07	11.895	127.2
Quinta-feira	3/8/95 11:00	83	138.064	20.88	11.895	127.2
Quinta-feira	3/8/95 12:00	84	187.3	28.32	11.895	127.2
Quinta-feira	3/8/95 13:00	85	152.1	23.00	11.895	127.2

Quinta-feira	3/8/95 14:00	86	152.1	23.00	11.895	127.2
Quinta-feira	3/8/95 15:00	87	152.1	23.00	11.895	127.2
Quinta-feira	3/8/95 16:00	88	328.1	49.61	11.895	127.2
Quinta-feira	3/8/95 17:00	89	328.1	49.61	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 18:00	90	328.1	49.61	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 19:00	91	328.1	49.61	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 20:00	92	193.256	29.22	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 21:00	93	115.8	17.51	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 22:00	94	115.8	17.51	11.895	0
Quinta-feira	3/8/95 23:00	95	115.8	17.51	11.895	0
Quinta-feira	4/8/95 0:00	96	115.8	17.51	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 1:00	97	115.8	17.51	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 2:00	98	115.8	17.51	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 3:00	99	119.6	18.08	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 4:00	100	119.6	18.08	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 5:00	101	119.6	18.08	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 6:00	102	115.8	17.51	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 7:00	103	115.8	17.51	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 8:00	104	115.8	17.51	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 9:00	105	115.8	17.51	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 10:00	106	115.8	17.51	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 11:00	107	115.8	17.51	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 12:00	108	115.8	17.51	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 13:00	109	115.8	17.51	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 14:00	110	115.8	17.51	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 15:00	111	115.8	17.51	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 16:00	112	325.1	49.16	11.895	127.2
Sexta-feira	4/8/95 17:00	113	325.1	49.16	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 18:00	114	120.3	18.19	11.895	0
Sexta-	4/8/95	115	120.3	18.19	11.895	0

feira	19:00					
Sexta-feira	4/8/95 20:00	116	120.3	18.19	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 21:00	117	120.3	18.19	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 22:00	118	120.3	18.19	11.895	0
Sexta-feira	4/8/95 23:00	119	120.3	18.19	11.895	0
Sexta-feira	5/8/95 0:00	120	120.3	18.19	11.895	0
Sábado	5/8/95 1:00	121	120.3	18.19	11.895	0
Sábado	5/8/95 2:00	122	120.3	18.19	11.895	0
Sábado	5/8/95 3:00	123	120.63	18.24	11.895	0
Sábado	5/8/95 4:00	124	125.8	19.02	11.895	0
Sábado	5/8/95 5:00	125	119.82	18.12	11.895	0
Sábado	5/8/95 6:00	126	114.3	17.28	11.895	0
Sábado	5/8/95 7:00	127	114.3	17.28	11.895	0
Sábado	5/8/95 8:00	128	114.3	17.28	11.895	0
Sábado	5/8/95 9:00	129	114.2004	17.27	11.895	0
Sábado	5/8/95 10:00	130	114.0012	17.24	11.895	0
Sábado	5/8/95 11:00	131	113.802	17.21	11.895	0
Sábado	5/8/95 12:00	132	113.6028	17.18	11.895	0
Sábado	5/8/95 13:00	133	113.4036	17.15	11.895	0
Sábado	5/8/95 14:00	134	113.2044	17.12	11.895	0
Sábado	5/8/95 15:00	135	113.0052	17.09	11.895	0
Sábado	5/8/95 16:00	136	112.806	17.06	11.895	0
Sábado	5/8/95 17:00	137	155.4	23.50	11.895	0
Sábado	5/8/95 18:00	138	169.2	25.58	11.895	0
Sábado	5/8/95 19:00	139	149.76	22.64	11.895	0
Sábado	5/8/95 20:00	140	112.8	17.06	11.895	0
Sábado	5/8/95 21:00	141	112.8	17.06	11.895	0
Sábado	5/8/95 22:00	142	117.3	17.74	11.895	0
Sábado	5/8/95 23:00	143	117.3	17.74	11.895	0
Sábado	6/8/95 0:00	144	117.3	17.74	11.895	0

Domingo	6/8/95 1:00	145	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 2:00	146	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 3:00	147	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 4:00	148	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 5:00	149	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 6:00	150	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 7:00	151	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 8:00	152	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 9:00	153	117.3	17.74	11.895	0
Domingo	6/8/95 10:00	154	146.5	22.15	11.895	0
Domingo	6/8/95 11:00	155	163.4	24.71	11.895	0
Domingo	6/8/95 12:00	156	152.1	23.00	11.895	0
Domingo	6/8/95 13:00	157	147.6	22.32	11.895	0
Domingo	6/8/95 14:00	158	147.6	22.32	11.895	0
Domingo	6/8/95 15:00	159	147.6	22.32	11.895	0
Domingo	6/8/95 16:00	160	147.6	22.32	11.895	0
Domingo	6/8/95 17:00	161	237.2	35.86	11.895	0
Domingo	6/8/95 18:00	162	237.2	35.86	11.895	0
Domingo	6/8/95 19:00	163	152.1	23.00	11.895	0
Domingo	6/8/95 20:00	164	114.4159	17.30	11.895	0
Domingo	6/8/95 21:00	165	114.7672	17.35	11.895	0
Domingo	6/8/95 22:00	166	115.1185	17.41	11.895	0
Domingo	6/8/95 23:00	167	115.4698	17.46	11.895	0
Domingo	7/8/95 0:00	168	115.8211	17.51	11.895	0
Segunda-feira	7/8/95 1:00	169	116.1724	17.57	11.895	0
Segunda-feira	7/8/95 2:00	170	116.5237	17.62	11.895	0
Segunda-feira	7/8/95 3:00	171	116.8749	17.67	11.895	0
Segunda-feira	7/8/95 4:00	172	117.2262	17.72	11.895	0
Segunda-feira	7/8/95 5:00	173	168.1	25.42	11.895	0
Segunda-	7/8/95	174	134.7	20.37	11.895	0

feira	6:00					
Segunda-feira	7/8/95 7:00	175	134.7	20.37	11.895	0
Segunda-feira	7/8/95 8:00	176	168.1	25.42	11.895	127.2
Segunda-feira	7/8/95 9:00	177	168.1	25.42	11.895	127.2
Segunda-feira	7/8/95 10:00	178	151.558	22.92	11.895	127.2
Segunda-feira	7/8/95 11:00	179	158.8	24.01	11.895	127.2
Segunda-feira	7/8/95 12:00	180	158.8	24.01	11.895	127.2