

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT

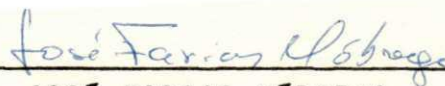
"ESTUDO DO CARVÃO DO COCO BABAÇU
COMO MATERIAL POROSO PARA FILTROS"

LUIZMAR PIMENTA BARBOSA

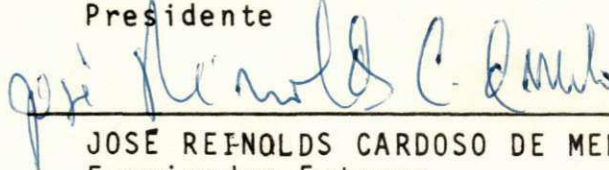
Engº Civil

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

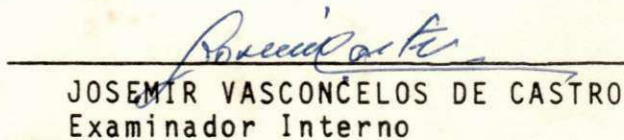
APROVADA POR:



JOSE FARIAS NÓBREGA
Presidente



JOSE REYNOLDS CARDOSO DE MELO
Examinador Externo



JOSEMIR VASCONCELOS DE CASTRO
Examinador Interno

CAMPINA GRANDE
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL
FEVEREIRO - 1978



B238e Barbosa, Luizmar Pimenta.
Estudo do carvão do coco babaçu como material poroso para filtros / Luizmar Pimenta Barbosa. - Campina Grande, 1978.
131 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1978.
"Orientação : Prof. José Farias Nóbrega".
Referências.

1. Filtração - Tratamento de Água. 2. Carvão do Coco Babaçu - Material para Filtros. 3. Estação de Tratamento de Água. 4. Filtro de Carvão - Coco Babaçu - Tratamento de Água. 5. Dissertação - Ciências. I. Nóbrega, José Farias. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 628.16.067.1(043)

para Betita

A G R A D E C I M E N T O S

O autor agradece:

Ao Professor José Farias Nóbrega do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela solicitude e eficiência demonstrada na orientação desta tese.

À Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, agradecemos ao professor Josemir Vasconcelos de Castro que gentilmente permitiu que este trabalho fosse realizado na ETA do Alto Branco, Campina Grande.

Ao Professor Adrianus Cornelius VanHaandel pelo apoio dado na seleção da bibliografia citada.

À Associação Técnico Científica "Ernesto Luiz de Oliveira Júnior" - ATECEL, agradecemos ao diretor, Engº Nilson de Brito Feitosa pelo apoio dado na impressão deste trabalho.

Aos colegas Ariosto Ferraz da Nóbrega e Netovitch Maia Duarte pela presteza com que nos forneceu parte do material necessário à pesquisa.

Ao Departamento de Engenharia Civil, agradecemos ao professor Francisco Monte Alverne, pelo apoio que permitiu o desenvolvimento dos trabalhos necessários à pesquisa.

Enfim, extendemos os nossos agradecimentos aos funcionários: Francisco Rocha, Freitas, Emanuel e Creusa todos da CAGEPA, bem como a Nelson do CCT e aos colegas Rui de Oliveira, João Bosco e Celso Piatti pela eficiência, ajuda e estímulo na preparação deste trabalho.

"ESTUDO DO CARVÃO DO COCO BABAÇU
COMO MATERIAL POROSO PARA FILTROS"

Dissertação de Mestrado

p o r

LUIZMAR PIMENTA BARBOSA

R E S U M O

Procedeu-se a um estudo do carvão do coco de babaçu como meio filtrante em filtros rápidos de gravidade com leito duplo, composto de uma camada deste carvão sobre uma de areia.

Apresenta-se uma caracterização do material de conformidade com as normas da A.W.W.A., e os resultados dos testes de filtração realizados em filtros pilotos montados na ETA do Alto Branco, Campina Grande. Em uma das fases dos testes compara-se o desempenho do leito composto por areia-babaçu como o de areia-antracito, o qual é comumente usado em estações de tratamento de água.

Os parâmetros básicos escolhidos para avaliar o desempenho do material estudado durante o processo foram; a perda de carga tomada em diferentes níveis do filtro e a remoção da turbidez da água tratada. A turbidez engloba diversos outros fatores que influem na filtração, o mesmo é válido para a perda de carga que permite caracterizar a capacidade de retenção dos flocos pelo meio filtrante.

O carvão do coco de babaçu apresentou bom desempenho durante a filtração, surgindo assim como uma nova opção para as estações de tratamento de água, principalmente nas regiões Norte e Nordeste onde existe babaçu em grande quantidade.

A STUDY OF BABAÇU COCONUT COARSE
AS POROUS MATERIAL FOR FILTER

M.Sc. Dissertation

by.

LUIZMAR PIMENTA BARBOSA

ABSTRACT

The work presented in this dissertation concerns a study of babaçu coconut coarse as a porous material for filter, using double bed made up of a coarse layer upon a sand one.

The study have presented the characterization of the material according to the A.W.W.A standard, as well as the results of filtration tests performed in a water treatment plant at Alto Branco, Campina Grande - Paraíba.

In the stage of tests the performance of layer compound by Sand-babaçu is balanced with a sand-antracite, which is used in water treatment plant. The basic parameters chosen to analyse the performance of the material were the head of lose in several levels in the filter and the tur

bidity removal of the treated water. The turbidity includes several other factors, that affects the filtration.

The same consideration is true for head loss which makes it possible to find out the retention capacity of floccs by filtering media.

The babaçu coconut coarse have presented a good performance, and can be considered as a new option for the water treatment plant, mainly in north and northeast of Brasil, where babaçu exists in great quantity.

SÍMBOLOS USADOS

C	Concentração volumétrica de partículas
h	Perda de carga
h_0	Perda de carga inicial
h_f	Perda de carga total
K	Coefficiente empírico conforme seja definido
L	Profundidade da capa do leito que se considera
P_0	Porosidade inicial do leito filtrante
Q	Fluxo ou vazão
V	Velocidade de filtração
α	Coefficiente de desprendimento
λ	Coefficiente de proporcionalidade, também chamado módulo de impedimento
ϕ	Coefficiente empírico conforme seja definido
ψ	Coefficiente de perda de carga
σ	Depósito específico

I N D I C E

		PÁGINA
	DEDICATÓRIA.....	ii
	AGRADECIMENTOS.....	iii
	RESUMO.....	v
	ABSTRACT.....	vii
	SÍMBOLOS USADOS.....	viii
	ÍNDICE.....	x
CAPÍTULO I	- INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II	- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
	2.1 - Introdução.....	5
	2.2 - Mecanismos Responsáveis pela Filtração.....	5
	2.3 - Comentários sobre Modelos Ma- temáticos.....	7
	2.4 - Equação de Perda de Carga.....	12
	2.5 - Filtração com Altas Taxas.....	16
	2.6 - Filtração em Leito Múltiplo...	18
	2.7 - Filtros Pilotos.....	22
CAPÍTULO III	- OBJETIVO DA PESQUISA.....	23
CAPÍTULO IV	- CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL.....	25
	4.1 - Breve Comentário sobre o Baba- çu.....	25
	4.2 - Granulometria.....	27

	PÁGINA
	4.3 - Determinações Diversas..... 28
CAPÍTULO V	- ESTUDO DE DESEMPENHO DO CARVÃO DE BABAÇU..... 32
	5.1 - Equipamento e Procedimento... 32
	5.1.1 - Colunas de Filtração. 32
	5.1.2 - Sistema de Entrada... 33
	5.1.3 - Sistema de Saída..... 36
	5.1.4 - Sistema de Lavagem... 36
	5.1.5 - Piezômetros..... 37
	5.2 - Procedimento Analítico..... 37
CAPÍTULO VI	- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DO RESULTADO..... 40
	6.1 - Testes de Filtração..... 40
	6.2 - Lavagem dos Filtros..... 43
	6.2.1 - Conclusões sobre a Lavagem..... 54
	6.3 - Teste de Resistência a Abração..... 56
CAPÍTULO VII	- CONCLUSÕES..... 58
CAPÍTULO VIII	- SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS... 60
ANEXO I	- APRESENTAÇÃO DE QUADROS COM DADOS OBTIDOS NOS TESTES DE FILTRAÇÃO..... 61
ANEXO II	- APRESENTAÇÃO DOS GRÁFICOS..... 102
	BIBLIOGRAFIA..... 129

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

Entende-se por filtração em sentido amplo, o processo de retenção de partículas em suspensão contidas em um fluido, obtida pela passagem deste fluido através de um meio poroso, onde a retenção se realizará.

Com a passagem da água através de um meio poroso como a areia, verifica-se uma remoção de matérias em suspensão e substâncias coloidais; as características da água inclusive químicas são alteradas e se observa uma redução substancial de microorganismos. Ao se explicar a filtração vários fenômenos devem ser considerados:

1. Ações físicas: ação mecânica de coar, sedimentação, absorção e adsorção.
2. Ações químicas: de oxidação; de ionização.

3. Ações biológicas: Schumtzdecke (película de sujeira) contato com a zooglêia.
4. Ações bioquímicas: contato.

O objetivo básico do processo é obter água de elevada qualidade condicionado aos seguintes aspectos da unidade de filtração.

1. máxima segurança de bom desempenho.
2. construção e operação econômica.
3. tempo longo de funcionamento (período) entre as paralizações destinadas a permitir a eliminação das partículas retidas no meio filtrante.

A filtração da água propicia a remoção de turbidez, redução de microorganismos patogênicos, auxilia na remoção de: gosto, odor, ferro e manganês. O filtro tanto pode ser o estágio final de um sistema de tratamento de água precedido das unidades de coagulação, floculação e decantação como também constituir-se na única unidade do sistema.

Poucos processos têm sido intensamente analisados ultimamente como a filtração. Seus mecanismos têm sido objeto de estudos de diversos autores. Muito se tem trabalhado em formulação de modelos matemáticos que descrevam o processo. Isto tem permitido mudanças substanciais nas práticas existentes. Extensos trabalhos se tem realizado sobre o uso de altas velocidades de filtração iniciados por Baylis em

Chicago (1, 2, 3) e Brown (4) em Durham. As publicações de Conley (5) sobre suas experiências com areia e antracito em Hanford abriram um novo campo de estudo. A prática do uso de filtros com camadas de múltiplos meios filtrantes (mesclados) tem, experimentalmente, fornecido os seguintes resultados:

1. Os leitos mesclados têm um período de operação (intervalo entre duas lavagens) maior, para uma determinada perda de carga.
2. Produzem um efluente de melhor qualidade que aquele produzido por filtros de camada única.
3. Permitem a prática da filtração com o triplo da velocidade que se usava antes.
4. Requerem menos água de lavagem.
5. Facilitam a ampliação de sistemas existentes com um custo mínimo, reduzindo o investimento de capital em novas instalações, simplesmente adotando-o em lugar dos leitos convencionais em instalações obsoletas.

Isto tem justificado a tendência de desaparecerem os filtros de camada única, dando lugar a filtros de duas ou mais camadas filtrantes.

Os filtros de duas camadas, por exemplo, são normalmente constituídos de areia e antracito.

O antracito é um carvão mineral negro, de brilho opaco, seco ao tato, ardendo com dificuldade, sem chama, fumo ou cheiro, com teor de carbono de 93 a 95%. É o carbão quase puro. Contém dois ou três centésimos de matérias terrosas, sílica, alumina e cal, e, acidentalmente, algum carboreto de ferro. É empregado como combustível nos fornos de cal, louçaria e vidraria, e tem grande poder calorífico. O Estado de Santa Catarina tem sido o fornecedor do carvão antracitoso usado nas estações de tratamento d'água do Brasil.

O Maranhão por sua vez tem produzido um carvão pela pirogenização do endocarpo do coco de babaçu, fruto da palmeira de mesmo nome, que existe naquele Estado em grande quantidade. Este carvão apresenta algumas propriedades semelhantes às do antrácito. Justifica-se assim, um estudo do carvão de coco babaçu como meio filtrante, podendo-se então desenvolver uma tecnologia com recursos da região.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - INTRODUÇÃO

A presente revisão bibliográfica é uma análise do processo de filtração, constando da apresentação dos mecanismos e dos fatores que influenciam neste processo. São apresentados comentários sobre modelos matemáticos, experiência de filtração com altas taxas e leitos múltiplos, bem como uso de filtros pilotos.

2.2 - MECANISMOS RESPONSÁVEIS PELA FILTRAÇÃO

A água que entra em um filtro, seja sedi -

mentada ou não, contêm uma variedade muito grande de partículas em suspensão.

Seu tamanho pode variar desde flóculos relativamente grandes 1mm de diâmetro até colóides, bactérias e vírus com tamanhos inferiores a 10^{-3} mm. Todo este conjunto em maior ou menor proporção fica retido no leito filtrante (6).

Os principais mecanismos responsáveis pelo processo de filtração dependem das características físico-químicas da suspensão e do meio filtrante, da taxa de filtração e das características químicas da água (7).

A remoção dos sólidos em suspensão por um filtro granular é muito complexa. Vários trabalhos apresentam os diversos mecanismos deste processo.

Alguns sólidos maiores podem ser removidos por simples peneiramento superficial. A remoção de outros sólidos particularmente de diâmetro menor que os poros do meio filtrante entram livremente através deste e têm que atravessar uma distância relativamente grande antes de aderir aos grãos que formam os poros. Este processo depende de dois tipos de mecanismos distintos mas complementares. O primeiro, um mecanismo de transporte é requerido para trazer algumas partículas em suspensão para o meio filtrante. O mecanismo de transporte pode incluir: sedimentação gravitacional, difusão, hidrodinâmica, e são estes afetados pelas características físico-químicas do meio, taxa de filtração, temperatura da água, tamanho e densidade da partícula em suspensão. O se

gundo, um mecanismo de adesão se faz necessário para reter as partículas quando estas estão próximas a superfície do meio filtrante. Este mecanismo envolve interações eletrostáticas, pontes químicas, absorção específica, todas as quais são afetadas pela aplicação de coagulantes no pré-tratamento e pelas características químicas da água e do meio filtrante (8).

2.3 - COMENTÁRIOS SOBRE MODELOS MATEMÁTICOS

Haja visto a existência de tantos parâmetros dos quais depende o processo de filtração, não seria difícil compreender a dificuldade de se determinar um modelo perfeito para o processo. E até hoje, mesmo com as mais modernas ferramentas da investigação científica (conceitos de matemática superior, teorias estatísticas, computadores eletrônicos, física da mecânica quântica) não se conseguiu uma fórmula ou conjunto de fórmulas que possam explicar todo o funcionamento de um filtro. Sem dúvida, grande número de pesquisadores desenvolveram vários modelos matemáticos que estabeleceram relações entre as diferentes variáveis do processo, que são de alguma forma bastante úteis para quantificar o trabalho e o funcionamento de um filtro.

O início de uma nova visão do processo de

filtração surgiu com o trabalho de Tomihisa Iwasaki (9), cujas idéias podem ser resumidas no seguinte:

1. A filtração é um processo dinâmico, sua ação depende da profundidade e do tempo de filtração.
2. A remoção das partículas em suspensão através da profundidade do filtro é proporcional a concentração destas partículas.
3. A constante desta proporcionalidade aumenta em proporção linear com a quantidade de obstrução dos vazios, o qual depende do tempo.
4. O material removido da suspensão obstrui os poros do filtro.

De acordo com estas hipóteses, Iwasaki trabalhando com filtros lentos propôs em 1937 a seguinte equação:

$$\frac{\partial C}{\partial L} = - \lambda C \quad (2-1)$$

Onde:

C = concentração volumétrica de partículas
 L = profundidade da capa do leito que se considera

λ = coeficiente de proporcionalidade, também chamado módulo de impedimento.

Kenneth J. Yves (10) comenta que estas idéias foram levadas adiante por P.S. Stein na sua tese de doutoramento sob a orientação de Thomas Camp. Stein fez estudo das experiências realizadas por Rolf Eliassen (11, 12) em 1935, na estação de tratamento d'água da cidade de Providence, que concordavam com o modelo matemático de Iwasaki. Stein modificou apenas a conclusão do terceiro item visto anteriormente para:

3. A constante de proporcionalidade no início cresce linearmente, então a partir de um certo instante passa a decrescer não linearmente de conformidade com a obstrução dos vazios provocada pelos depósitos.

Acrescenta que, Stein estava adiantado no seu tempo e sua tese nunca foi publicada.

Ainda Yves (13) propôs em 1960 uma equação semelhante a de Iwasaki:

$$\frac{\partial C}{\partial L} = \left[\lambda_j + K\sigma - \frac{\phi \sigma^2}{P_0 - \sigma} \right] C \quad (2-2)$$

Onde:

λ_i = valor inicial do módulo de impedimento

K = coeficiente empírico

ϕ = coeficiente empírico

P_0 = porosidade inicial do leito filtrante

σ = depósito específico, representa o volume de partículas depositadas por unidade de volume do meio filtrante.

Esta é uma equação empírica que descreve a remoção de partículas supondo, no início da filtração, os grãos limpos e portanto $\lambda = \lambda_i$ (inicial). No decorrer do processo, os depósitos se acumulam por efeito de gravidade em cima dos grãos. Isto implica numa melhor eficiência de remoção e λ aumenta linearmente, então:

$$\lambda = \lambda_i + K\sigma$$

Mas chega um determinado momento em que estes depósitos de material passam a ser prejudiciais e ele sugeriu que λ diminua na proporção:

$$- \frac{\phi \sigma^2}{P_0 - \sigma}$$

Portanto:

$$\lambda = \lambda_j + K\sigma - \frac{\phi\sigma^2}{P_0 - \sigma}$$

concordando com Stein e Eliassen.

Observa-se que ao diminuir a eficiência de uma determinada camada, as partículas se aderem cada vez menos a ela e penetram até a camada imediatamente inferior, a qual toma a carga que a camada de cima deixa passar. Esta segunda camada por sua vez se colmata e transfere a carga para debaixo e assim sucessivamente.

Este modelo recebe as seguintes críticas:

1. Não leva em consideração a variação do diâmetro do meio filtrante, nem a variação na concentração do floco depositado num determinado local do filtro.
2. Parte do princípio que o volume do material que fica retido nos poros é igual ao volume do material removido da suspensão. Dados experimentais sugerem uma compactação dos flocos, atingindo-se uma diminuição de até 50% do volume inicial.
3. Apresenta dificuldades para determinar-se os valores das constantes, e é pouco prático no uso de projetos.

Daniel Mints (14) desenvolveu um modelo se melhante aos anteriores, mas introduzindo um novo conceito.

Considerou o processo constando de uma deposição constante de partículas nos poros do filtro juntamente com uma força de arrastamento sobre os depósitos existentes.

Matematicamente foi expresso por:

$$-\frac{\partial C}{\partial L} = \lambda C - \frac{\alpha}{V} \quad (2.5)$$

Onde:

α = coeficiente de desprendimento

V = velocidade de filtração

2.4 - EQUAÇÃO DE PERDA DE CARGA (6)

Ao passar um fluxo Q através do leito filtrante granular de profundidade L , a fricção que o fluido sofre ao atravessar os poros produz uma perda de carga h .

A perda de carga final (h_f) em um filtro é função da forma como se distribuem os depósitos específicos σ no leito filtrante e que diminuem a sua porosidade inicial.

Pode ser expressa por:

$$h_f = h_0 + \psi \int_0^L \tau dL \quad (2-3)$$

Onde:

h_0 = Perda de carga inicial (considerando os grãos limpos), esta é uma função do diâmetro, forma e porosidade (característicos hidráulicos) do meio filtrante e de velocidade e viscosidade da água.

ψ = Coeficiente de perda de carga que depende do tipo do meio filtrante, da taxa de filtração, viscosidade da água e características da suspensão.

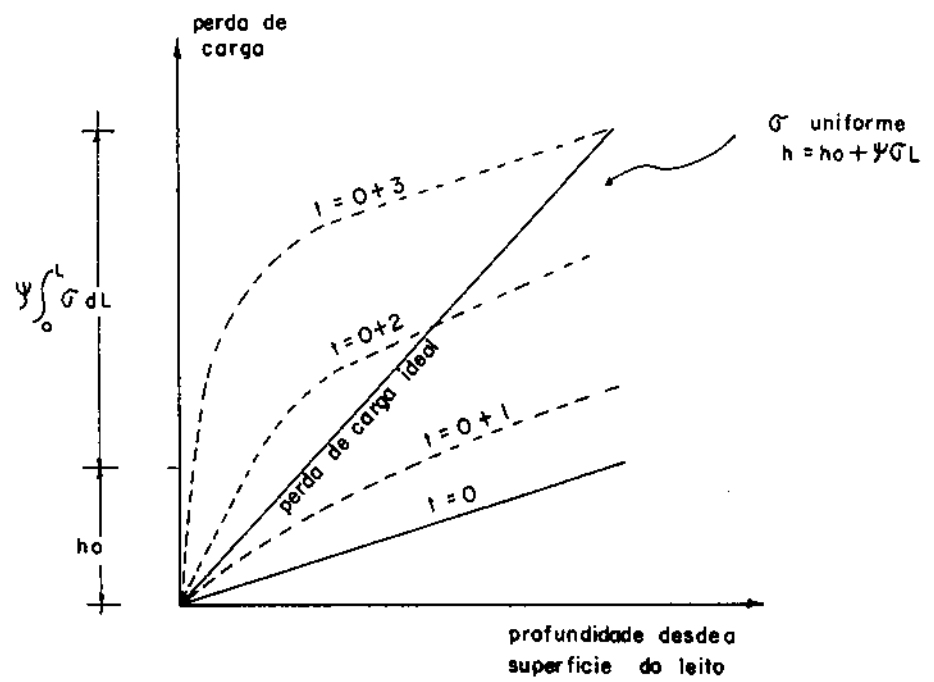
O caso ideal seria ter-se σ constante o que implicaria em:

$$h_f = h_0 + \psi \sigma L \quad (2-7)$$

Isto significa uma distribuição uniforme de depósitos de partículas com a profundidade.

Na figura II-1 vemos curvas de variação da perda de carga com a profundidade do filtro.

FIG. II-1 - Curvas de variação da perda de carga para diferentes profundidades do leito filtrante.



Na prática o σ não é uniforme, as partículas sólidas ficam retidas quase todas nas camadas superiores do leito. A curva representativa de tal situação é convexa, aumentando sua convexidade com o tempo à medida que a colmatação superficial se faz maior.

2.5 - FILTRAÇÃO COM ALTAS TAXAS

Alguns engenheiros e operadores de estações de tratamento d'água admitiram durante muito tempo o falso senso de segurança pelo uso de taxas de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$. É certo que uma água de boa qualidade não é assegurada com o uso de taxas de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ou menores, sem o adequado pré-tratamento requerido. Por outro lado, com adequado pré-tratamento, água de boa qualidade pode ser geralmente obtida com altas taxas.

Geralmente se atribui a George W. Fuller a fixação, em 1898, da taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ o que hoje se conhece como taxa normal de filtração. O próprio Fuller aceitava a probabilidade de se conseguir água de boa qualidade mesmo com o incremento na taxa de filtração para satisfazer a demanda do grande consumo d'água.

Baylis (1, 2, 3) foi um dos primeiros a in

dicar que taxas de filtração mais altas, até $300 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$, foram toleráveis com águas do lago de Michigan.

Conley (5) em Hanford informa sobre o uso de taxas de filtração de até $480 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ para produzir água industrial sem redução significativa da qualidade do efluente.

Segalle e Okum (15) na California do Norte concluíram que o efluente do filtro se deteriorava quando se usava altas taxas de filtração.

Cleasby, Williamson e Baumann (16) estudando o efeito da mudança de taxa de filtração sobre a qualidade do efluente concluíram que distúrbios na taxa de filtração refletiam na qualidade do efluente, explicando este resultado pelo fato de se quebrar o delicado equilíbrio existente entre as forças que tendem a depositar e fixar partículas no filtro e aquelas de cisalhamento hidráulico que tendem a desalojar as partículas previamente depositadas.

No entanto se a taxa incrementada, que causou os distúrbios, for mantida durante um longo intervalo de tempo, isto não causa significativa efeito sobre o efluente.

Robeck (17) afirma que boa parte desta confusão entre pesquisadores provém de não se especificar as condições dos ensaios, especialmente aquelas que se relacionam com a qualidade do floco. Se não se faz um pré-tratamento apropriado, não vai ser uma taxa de 120 ou $360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ que garantirá um bom efluente.

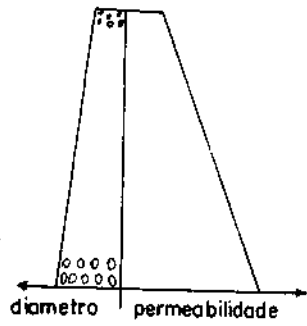
2.6 - FILTRAÇÃO EM LEITOS MÚLTIPLOS

O meio filtrante ideal deve ser tal que armazene a maior quantidade possível das partículas de uma água, dê boa limpidez ao afluyente e seja facilmente limpo durante a lavagem.

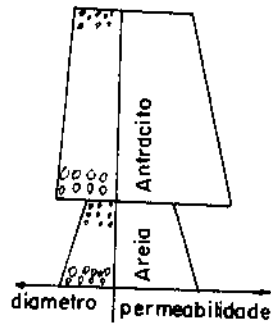
O leito ideal deveria ser semelhante ao de uma reia com graduação reversa, tendo as maiores partículas e consecutivamente os maiores interstícios no topo, e ir diminuindo gradualmente de cima para baixo, estas partículas e interstícios. Assim certamente reteriam, eficientemente, somente os maiores flocos na parte superior e os menores passariam a ser depositados nas camadas inferiores. Possibilitando assim uma maior capacidade de armazenamento do floco depositado e diminuindo a perda de carga no leito. A Fig. II-2 mostra características de meios filtrantes.

Do ponto de vista prático em filtração d'água, é óbvio que a graduação reversa não pode ser conseguida facilmente, pois se tratando de filtros rápidos de gravidade, durante a lavagem por inversão de fluxo, haverá uma graduação normal dos grãos; situando-se os menores e mais leves na parte superior, aumentando gradativamente de cima para baixo a granulometria. Filtros de fluxo ascendente, dos quais se têm referências de ter existido desde o século XVII, tiram partido desta condição da graduação normal.

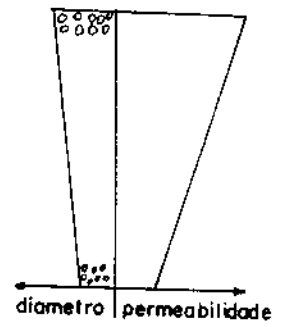
FIG. II-2 - Diferentes tipos de leitos filtrantes



Leito de Areia



Antracito-Areia



Leito Ideal

Para contornar os problemas dos leitos de graduação normal, utilizou-se uma idéia muito simples. Usar leitos com materiais de diferentes densidades. Por exemplo, antracito e areia, são os mais usados.

O antracito por ser menos denso que a areia, sendo colocado sobre a areia nos filtros, após a lavagem permanecerá na parte superior do leito filtrante, então usando-se este material com granulometria maior este removerá as partículas maiores, permitirá uma boa penetração do floco e a areia com granulometria menor dará o "polimento" na água.

Baylis (18) em 1935 realizou experiências na E.T.A de Chicago com filtro composto de um leito de material de baixa densidade sobre um leito de material mais fino obtendo bons resultados.

Conley (5) em 1961 despertou o interesse sobre filtração em leitos duplos de areia e antracito.

A partir de 1964 houve uma ploriferação destes trabalhos.

T.F. Craft (19), por exemplo, fez estudos comparativos entre filtração em leitos de areia normalmente graduada, de areia com graduação reversa, de antracito, e de combinação de antracito e areia. Os resultados obtidos nestas experiências (do ponto de vista de qualidade do afluyente, maiores períodos de filtração, facilidade de operação) destacaram o leito do antracito-areia como o melhor deles.

2.7 - FILTROS PILOTOS

Como é sabido, o processo de filtração depende de um grande número de variáveis e apesar de todos os esforços realizados para determinação de modelos matemáticos que descrevam exatamente o processo, se faz necessário estudos experimentais.

Filtros pilotos trabalhando em condições similares aos protótipos têm sido usados por vários pesquisadores, fornecendo bons resultados.

Considerando que o processo de filtração depende principalmente das características da suspensão e do meio filtrante, estes devem ser mantidos em estado natural, igual ao usado no protótipo, dado que não faz sentido reduzi-lo a escala menor. O mesmo fica válido para a profundidade do filtro. No entanto a área superficial do filtro pode ser reduzida sem prejudicar os resultados das experimentações, e assim torna-se mais fácil o controle e medições do processo. Esta redução de área, no entanto, deve obedecer a relação entre o diâmetro máximo do grão e o diâmetro do filtro que não deve ser menor que 1:50, estabelecida empiricamente por Yves (20).

CAPÍTULO III

OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo básico desta pesquisa foi estudar o carvão do coco de babaçu como meio filtrante, em tratamento d'água, nos filtros rápidos de gravidade com leito duplo areia-carvão do coco de babaçu, trabalhando em altas taxas de filtração.

O estudo desenvolveu-se em uma planta piloto convenientemente montada e operada na estação de tratamento de água da CAGEPA, no Alto Branco, Campina Grande, no período de Novembro de 1976 a Novembro de 1977.

O estudo dividiu-se em três fases:

1. Caracterização do material (como meio filtrante).
2. Estudo do desempenho do carvão do coco de babaçu. Esta fase foi iniciada comparando o desempenho deste material com o

antracito trabalhando em taxas determinadas; em seguida analisou-se isoladamente o desempenho do mesmo a taxas maiores que $400 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.

3. Teste de resistência a abrasão durante a lavagem.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

4.1 - BREVE COMENTÁRIO SOBRE O BABAÇU

O Babaçu é uma palmeira oleaginosa (ORBIGNYA MARTIANA) do Brasil setentrional. O termo babaçu designa indiferentemente a palmeira e a amêndoa retirada da semente de várias palmeiras dos gêneros Orbignya, Attalea, Maximilia e Scheelea, de valor comercial e industrial.

"O extrativismo vegetal do Maranhão tem na palmeira de babaçu uma das mais importantes fontes de riqueza do seu setor primário. Estima-se em 5.000.000.000 (cinco bilhões) de pés, o potencial ainda mal aproveitado no estado.

A palmeira de babaçu é nativa no estado, existindo em 120 dos 130 municípios maranhenses ocorrências

de babaçuais em maior ou menor densidade, concorrendo o Maranhão com 90% da produção nacional do óleo e torta de babaçu, o que o coloca como o segundo mais importante gerador de I.C.M., devendo-se ressaltar ser a torta o produto de maior significação no nosso quadro de exportação nos mercados da Alemanha e Holanda". (21)

Estudos feitos pelo Instituto de Recursos Naturais e a Escola Técnica Federal do Maranhão constataram a existência de 68 sub-produtos resultantes de intensas pesquisas que vêm sendo feitas com este "boi vegetal" do Maranhão.

Da ampla gama de sub-produtos pode-se citar óleo bruto e comestível, sabão, celulose, palmito, alcatrão, breu, ração para animais, glicose, carvão. Existe projeto aprovado pela SUDENE que visa a produção de álcool anídrico. Outra pesquisa realizada pela Secretaria de Saúde do Maranhão contando com recursos do INA e em convênio com a Fundação Universidade do Maranhão, em laboratório especial montado pela Cruz Vermelha, visa a utilização do leite da amêndoa do babaçu na alimentação infantil. Segundo testes ficou comprovado que o leite tem alto teor nutritivo.

A Companhia Industrial Técnica (C.I.T.) , instalada no Maranhão tem industrializado o coco babaçu. O carvão do coco de babaçu resultante da "pirogenização" do endocarpo deste coco pela C.I.T., tem sido exportado para os E.E.U.U..Empresas americanas interessadas neste produto, utili

zaram o mesmo na siderurgia, para a fabricação de aços especiais, em substituição ao coque, dado o seu alto poder calorífico. Este carvão apresenta-se em granulometria variada, obtida da fragmentação natural que sofre o coco durante a "quebra".

As semelhanças deste sub-produto do carvão de coco do babaçu com o carvão antracitoso foi o motivo de estudá-lo para fins de tratamento d'água. A foto 4-1 ilustra os dois materiais.

Para caracterização do carvão de babaçu como meio filtrante estudou-se a granulometria (diâmetro efetivo, coeficiente de uniformidade), solubilidade no ácido clorídrico, peso específico, dureza do material, de conformidade com as normas da A.W.W.A. Outras determinações foram feitas para caracterização melhor do material em estudo.

4.2 - GRANULOMETRIA

Uma vez que o carvão no seu estado natural não atende as especificações para material filtrante em tratamento d'água, pois até então não foi usado para esta finalidade, o mesmo requer um tratamento especial.

Tendo sido decidido que uma fase de pesquisa constava de um estudo comparativo com o carvão antracito-

so nacional já usado no Brasil, procurou-se dar ao carvão de babaçu as mesmas características granulométricas do antracito. A amostra a ser pesquisada foi então quebrada em um britador e peneirada convenientemente de modo a se conseguir a granulometria desejada. A Companhia Carbonífera de Urussanga - Criciúma - Santa Catarina atualmente a única produtora no Brasil do carvão antracitoso, CATA, que compõem os filtros de camada mista, já em uso em ETAs(23) da SANEPAR, SANESP, SANEAGO, CASAN, CEDAG, SESAM, CAGEPA e outros, especifica uma camada de areia com granulometria de 1/2 a 1mm, diâmetro efetivo 0,6mm, e coeficiente de uniformidade igual a 1.3, com espessura em torno de 20cm; acima desta camada um leito de carvão "CATA" com diâmetro efetivo de 0,95 a 1,00mm e coeficiente de uniformidade 1,7, com espessura em torno de 50 cm, que de modo geral fornece bons resultados (23). Estas especificações foram obedecidas para ambos os materiais em todos os testes realizados, juntamente com a conveniente camada de suporte.

4.3 - DETERMINAÇÕES DIVERSAS

A análise físico-química da amostra apresentou os seguintes resultados:

Peso Específico.....	1,66 g/cm ³
Dureza	3
Solubilidade ao HCl a 40%..	desprezível
Porosidade	66%

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo estudando uma amostra do carvão de babaçu obteve os seguintes resultados.

No material original:

Umidade	10,30%
Materiais Voláteis	4,03%
Cinza	5,42%
Carbono fixo	80,20%

No material seco a 105°C

Enxofre total (S).....	inferior a 0,1%
Fósforo (P)	0,020%
Hidrogênio (H)	0,69%
Poder calorífico superior	7,426 Kcal/kg
Poder calorífico inferior	7,390 Kcal/kg

FOTO IV-1 - Carvão do coco de babaçu (junto ao coco de mesmo nome) e carvão antracitoso.

FOTO V-1 - Uma vista parcial da estação piloto.

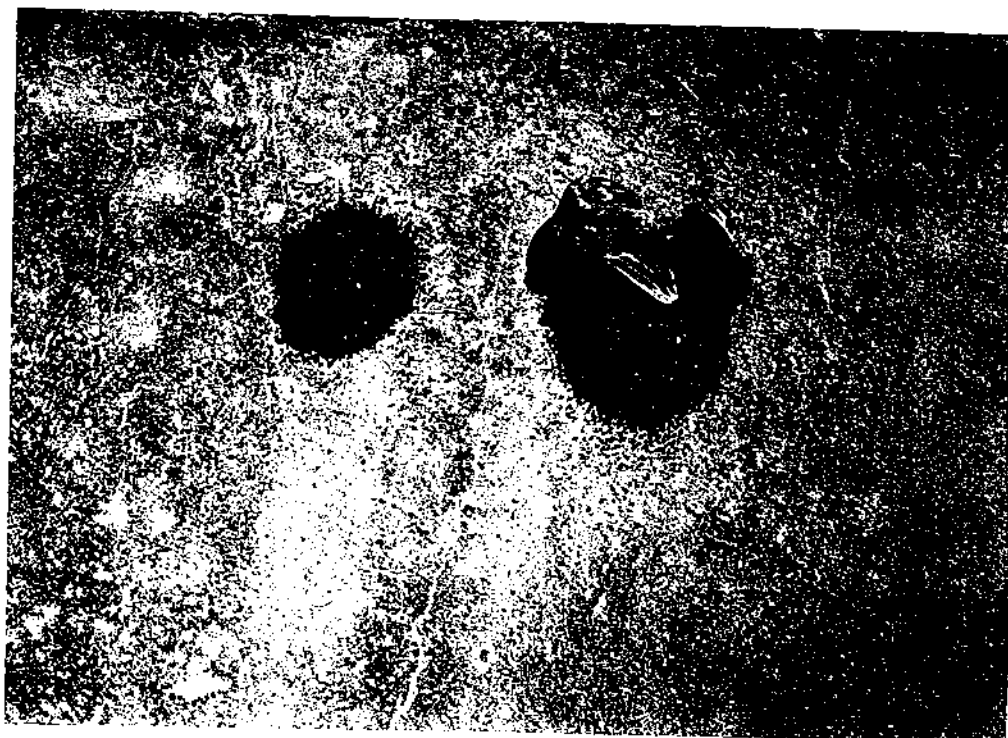


FOTO IV - 1

Figura 1

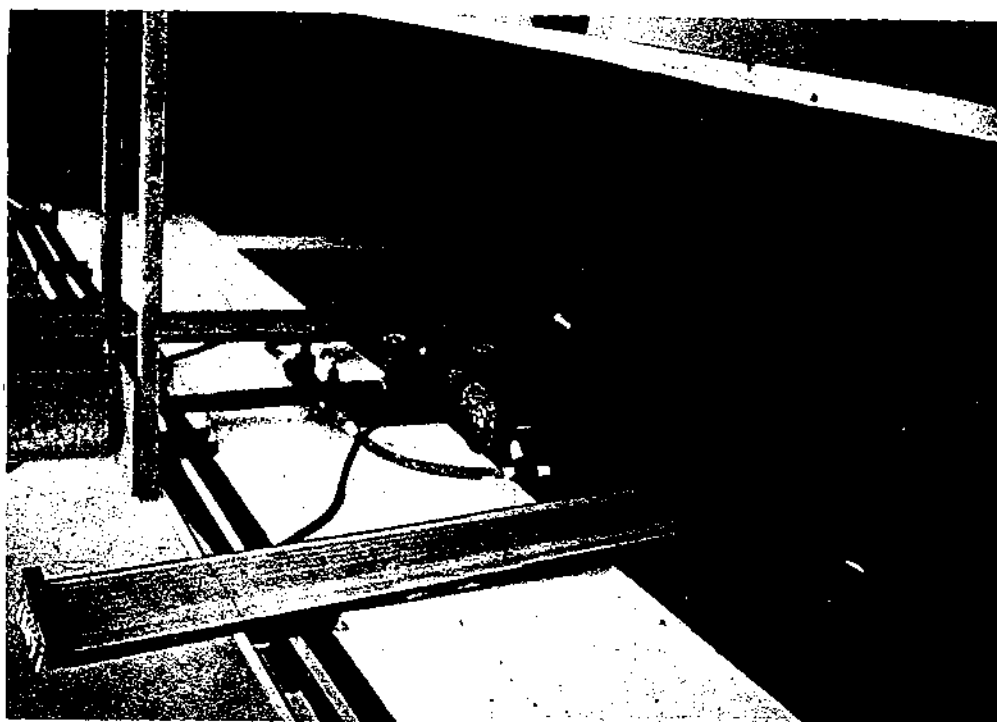


FOTO V - 1

Figura 2

CAPÍTULO V

ESTUDO DE DESEMPENHO DO CARVÃO DE BABAÇU

5.1 - EQUIPAMENTO E PROCEDIMENTO

Para se estudar o desempenho do carvão de babaçu, montaram-se dois filtros pilotos, conforme Foto V-5. Esta estação piloto consta das seguintes partes: Coluna de filtração, sistema de entrada, sistema de saída, sistema de lavagem e piezômetros.

5.1.1 - COLUNAS DE FILTRAÇÃO

De início pensou-se em confeccioná-las em tubos de plexiglass que são transparentes, mas, dada a inexistência do mesmo no comércio optou-se por tubos de PVC de 5" nos quais foram feitas aberturas laterais e colocadas pla

cas de acrílico, contornando satisfatoriamente o problema de visualização.

Os tubos têm 1,70 m de comprimento.

Colocou-se a 5,00 cm da parte inferior das colunas de filtração uma placa de acrílico com 17 furos de 1/8" de diâmetro formando assim um fundo falso.

5.1.2 - SISTEMA DE ENTRADA

A entrada dos filtros foi esquematizada conforme se descreve a seguir (ver Foto V-2 e V-3).

- Montou-se um sistema de entrada de modo a permitir a alimentação dos filtros a partir da canaleta de água decantada.
- O sistema consta basicamente, de um pequeno conjunto elevatório, com controle automático de partidas e paradas, calibrado de modo a não permitir variações consideráveis no nível de água da caixa receptora.
- Da caixa receptora com capacidade para 1.000 litros, o escoamento é feito por gravidade ao tanque de carga que alimenta diretamente os filtros. Este tanque foi provido de um flutuador para contro-

FOTO V-2 - Vista parcial da ETA mostrando a tomada d'água quando esta já era feita diretamente nos decantadores.

FOTO V-3 - Vista da caixa receptora e tanque de carga.

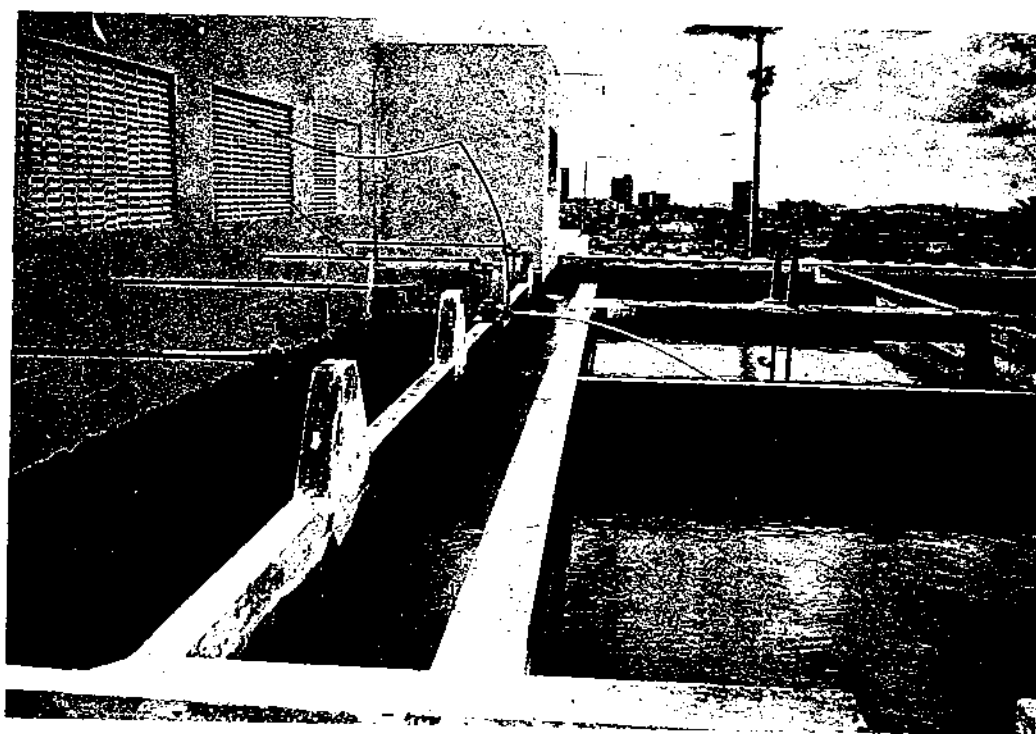


FOTO - V - 2

Figura 3

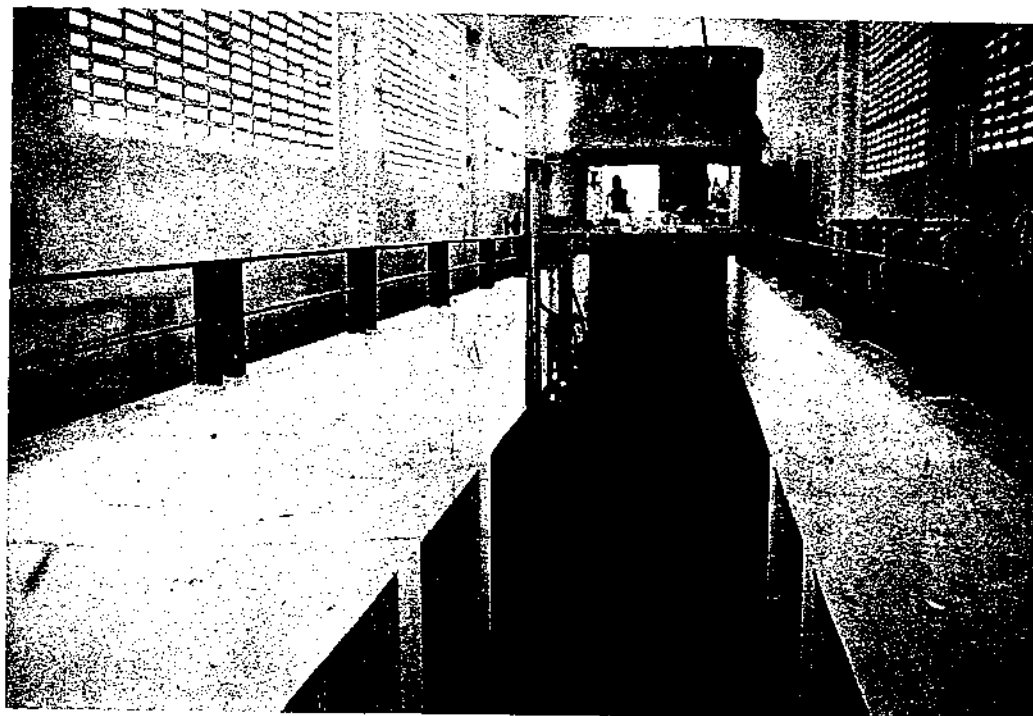


FOTO V - 3

Figura 4

le de nível e vazão. Houve sempre a orientação de agitar a água da caixa receptora a fim de impedir a sedimentação excessiva dos flocos.

5.1.3 - SISTEMA DE SAÍDA

No sistema de saída foram utilizadas "caixas de descarga" de instalações sanitárias com válvulas de passagem adaptadas na saída, permitindo assim manter-se a taxa de filtração desejada em cada teste.

A avaliação da taxa de filtração foi feita mediante o cálculo do tempo necessário para encher um recipiente de 1 litro colocado na saída da caixa. Fazendo-se as considerações requeridas, facilmente, a taxa era determinada.

5.1.4 - SISTEMA DE LAVAGEM

A lavagem foi feita por inversão de fluxo, com a água proveniente da derivação feita na tubulação da água que lava os filtros da estação.

A taxa de lavagem podia ser constatada por registros convenientemente dispostos e a sua avaliação era feita calculando-se o tempo necessário para encher determinado volume no tubo calibrado, receptor destas águas. Neste mesmo tubo se coletava amostras para estudar a turbidez da água de lavagem.

5.1.5 - PIEZÔMETROS

Foram utilizados 8 (oito) piezômetros estrategicamente colocados na coluna de filtração.

O primeiro foi posto um pouco acima do leito filtrante, este serviu de referência para os demais, já que era de interesse medir a perda de carga no leito filtrante. Os seguintes foram colocados na mesma linha abaixo, permitindo, assim, avaliar as perdas de carga a 10cm, 20cm, 40cm, 50cm (interface areia-carvão), 60cm e 80cm. O oitavo e último, ficou situado no fundo falso de modo a facilitar a saída de ar.

5.2 - PROCEDIMENTO ANALÍTICO

Os parâmetros básicos escolhidos para analisar a eficiência da filtração foram; a turbidez do afluente e efluente dos filtros, e a perda de carga tomada em diferentes níveis. A turbidez, por si só, engloba diversos outros fatores que influem na filtração, o mesmo é válido para a perda de carga que permite caracterizar a distribuição do floco através da profundidade do leito filtrante. A penetração do floco foi determinada também visualmente.

Estes dois parâmetros serviram de referên-

cia para limitar o período de trabalho dos filtros, nos testes realizados, foram coletados dados referentes a eles em intervalos de três horas.

A turbidez máxima adotada foi de 1,00 UJ, que é o valor máximo desejado segundo a Portaria Nº 56/BSB de 14 de março de 1977, baixada pelo Ministério da Saúde, estabelecendo padrões e normas de potabilidade da água em todo o país. Eventualmente permitiu-se valores maiores de turbidez, quando ocasionados por distúrbios no processo.

Um turbidímetro HACH modelo 2100 A foi usado para medição da turbidez da água estudada.

A perda de carga máxima adotada foi de 1,50m. Observou-se em testes preliminares que ao ultrapassar este valor ocorria uma diminuição na vazão, a esta diminuição torna-se mais acentuada quando a perda assume valores próximos a 1,80m, que é o valor da lâmina de água sobre o leito filtrante. Sabe-se que, se a perda ultrapassar o valor da lâmina da água, ocorrerá pressão negativa e de acordo com a lei de Henry haverá formação de gás que trará graves problemas ao processo.

Os elementos coletados em cada teste foram registrados em um quadro padronizado onde relacionava-se:

- a) Hora da leitura;
- b) Tempo de filtração;
- c) Turbidez do afluente e do efluente;

- d) Perda de carga a vários níveis do leito;
- e) Taxa de filtração;
- f) Duração do teste;
- g) Volume filtrado;
- h) Taxa de lavagem dos filtros;
- i) Duração da lavagem;
- j) Volume de água gasto durante a lavagem.

CAPÍTULO VI

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 - TESTES DE FILTRAÇÃO

Os elementos coletados em cada teste, já mencionados, estão registrados nos quadros anexos.

Para cada teste foram construídos três tipos de gráfico. No primeiro pode-se observar as variações de turbidez do afluente e efluente dos filtros, no segundo, que está representado na mesma figura, observa-se a evolução da perda de carga total no filtro, e por último indica-se a perda de carga em função da profundidade em intervalo de tempo de 12 horas.

Na primeira fase dos testes (Testes Nº 3, 4, 5, 6, 7, 8) quando o antracito servia de referência na filtração pode-se observar uma certa similaridade no desempenho dos dois materiais.

Do ponto de vista de período de filtração o babaçu foi melhor com 64, 86, 98, 99 e 84 horas contra o antracito com 61, 83, 83, 87 e 72 horas nos testes 3, 5, 6, 7, 8 respectivamente; apenas no teste 4 o antracito teve um período de 70 horas, maior que o de 60 horas do babaçu.

A turbidez do efluente teve valores semelhantes tendo o antracito fornecido efluente ligeiramente melhor que o do babaçu.

Observa-se que ao dar início a um período de filtração a qualidade do efluente normalmente encontra-se fora do padrão adotado e que ambos os materiais demoram aproximadamente os mesmos intervalos de tempo para fornecer efluente desejável.

No decorrer do processo de filtração ocorreram picos na turbidez do efluente com valores acima do permitido, conforme indicado nos testes 3 e 4 e que estes valores ocorreram simultâneos aos picos da turbidez do afluente. Os filtros comportaram-se de maneira semelhante ante tais ocorrências.

No teste 6 houve uma interrupção no funcionamento dos filtros, e ao reiniciar a filtração a turbidez do efluente apresentou valores maiores que o desejado.

Foram feitas três tentativas mal sucedidas de se usar taxas de $400 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ com afluentes de turbidez próximos a 15 U.J., o que já era um resultado esperado. 0

uso de altas taxas de filtração é compatível com o pré-tratamento adequado, como já foi citado anteriormente. Por exemplo, nos estudos de Armando Vargas (22), ele considera um pico de turbidez quando esta atinge o valor 7 U.J., o valor médio usual é 4,5 U.J.; T.F. Craft (19) em seus trabalhos usou afluentes com turbidez próximas a 1 U.J. ou menores.

A boa penetração do floco em ambos os filtros, garantindo um melhor aproveitamento da capacidade de armazenamento dos flocos depositados no leito, foi observado através do contraste produzido entre a cor marrom dos flocos e a cor da areia e do antracito. O mesmo pode ser feito observando-se as curvas de variação da perda de carga decorrente da penetração dos flocos no leito filtrante com o tempo, estas aproximam-se de uma função linear. Este comportamento que caracteriza os leitos duplos difere daquele que caracteriza o leito simples de areia que é representado por curvas convexas que aumentam esta convexidade com o tempo.

Uma vez que ficou constatado que o babaçu comportava-se de maneira satisfatória comparada ao antracito que é um material já bastante usado, com êxito, em estações de tratamento d'água, prosseguiu-se com as experiências para verificação da eficiência do babaçu a taxas maiores.

Para contornar o problema da qualidade do afluente isolou-se um decantador da ETA e a coleta da água passou a ser feita diretamente deste. Consegiu-se assim um

afluente com valores médios da turbidez na faixa de 2 a 4 U.J.

As taxas de filtração adotadas nesta segunda fase dos testes foram de: 400, 425, 500 e 600 $m^3/m^2/dia$.

Os resultados foram bastante satisfatórios. Estes testes apresentaram grandes períodos de filtração e boa qualidade do efluente; com a exceção do teste no qual usou-se taxa de 600 $m^3/m^2/dia$, justifica-se o fato pelo pico do valor da turbidez, deixando, mais uma vez, patente a importância do pré-tratamento da água quando usa-se altas taxas de filtração.

O controle de gosto e odor foi feito no decorrer de todos os testes apresentando resultados inobjektáveis.

6.2 - LAVAGEM DOS FILTROS

Quando a perda de carga total em um filtro atingia o valor de 1,50m, ou o afluente do mesmo apresentava turbidez com valores maiores que 1, 0 U.J., o filtro era tirado de funcionamento e lavado por inversão de fluxo.

As lavagens que antecederam aos testes 03, 04, 05 e 06 foram feitas aplicando-se uma taxa no intervalo de 14,83 a 16,10 $l/s/m^2$ que garantiu uma velocidade entre 89 a 96 cm/min durante os 10 minutos. A adoção destes valo-

res para velocidades de lavagem baseou-se na experiência da ETA de Tibido, Bogotá (19). Durante estes testes não foram feitos estudos sobre a lavagem. Uma primeira tentativa foi feita após o teste 06. Os dados coletados durante esta lavagem e os seguintes estão apresentados abaixo:

TESTE 06

V = 88,9 cm/min

vazão = 0,182 L/s

taxa = 14,82 L/s/m²

ANTRACITO

Expansão média = 18 cm = 36%

P.C.I.* = 17 cm

BABAÇU

Expansão média = 20 cm = 40%

P.C.I. = 15 cm

Amostra	Temp. (min)	Turbidez (U.J)	Amostra	Temp. (min)	Turbidez (U.J)
1	8	150	1	8	85
2	99	92	2	9	63
3	10	71	3	10	60
4	11	65	4	11	51
5	12	58	5	12	45

* PCI - Perda de carga inicial no teste que sucedia a referi da lavagem.

TESTE 07

V = 97,8 cm/min

vazão = 0,200 L/s

taxa = 16,30 L/s/m²

ANTRACITO

Expansão média = 18 cm = 36%

P.C.I. = 21,0 cm

BABAÇU

Expansão média = 22 cm = 44%

P.C.I. = 18,5 cm

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)	Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	6	120	1	2	150
2	7	95	2	4	110
3	8	71	3	6	65
4	9	65	4	7	49
5	10	55	5	8	42
6	11	51	6	9	37
7	12	48	7	10	32
8	13	40	8	11	31
9	14	39	9	12	29
10	15	34	10	13	26
-	-	-	11	14	25,5
-	-	-	12	15	23,5
-	-	-	13	17	23
-	-	-	14	19	23
-	-	-	15	23	23
-	-	-	16	25	23

TESTE 07-X

Velocidade: 108,56 cm/min

Vazão : 0,222 L/s

Taxa : 18.09 L/s/m²**BABAÇU**

Expansão média = 23 cm = 46%

P.C.I. = 10,5 cm

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	1	20
2	2	50
3	3	200
4	4	210
5	5	100
6	6	43
7	7	33
8	8	30
9	9	27
10	10	26
11	11	27
12	12	25
13	13	24
14	14	23
15	15	23

TESTE 08

Velocidade: 81.48 cm/min

Vazão : 0,167 L/s

Taxa : 13,61 L/s/m²ANTRACITO

Expansão média = 14 cm = 28%

P.C.I = 22 cm

BABAÇU

Expansão média = 15 cm = 30%

P.C.I = 16.5 cm

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)	Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	1	10	1	1	10
2	2	68	2	2	75
3	3	180	3	3	120
4	4	210	4	4	230
5	5	250	5	5	200
6	6	160	6	6	100
7	7	110	7	7	67
8	8	85	8	8	41
9	9	56	9	9	32
10	10	49	10	10	28
11	11	49	11	11	27
12	12	44	12	12	26
13	13	38	13	13	25
14	14	36	14	14	23
15	15	34	15	15	23

TESTE 09

Velocidade: 102,69 cm/min

Vazão : 0,210 L/s

Taxa : 17,11 L/s/m²**BABAÇU**

Expansão média = 22 cm = 44%

P.C.I = 16,5 cm

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	1	72
2	2	200
3	3	250
4	4	170
5	5	80
6	6	57
7	7	45
8	8	43
9	9	35
10	10	32
11	11	30
12	12	28
13	13	27
14	14	26
15	15	26

TESTE 10

Velocidade: 102,69 cm/min

Vazão : 0,21 L/s

Taxa : 17,11 L/s/m²**ANTRACITO**

Expansão média = 17 cm = 34%

P.C.I = 19 cm

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	1	23
2	2	180
3	3	230
4	4	130
5	5	83
6	6	62
7	7	52
8	8	45
9	9	39
10	10	36
11	11	33
12	12	32
13	13	31
14	14	29
15	15	28

TESTE 11

Velocidade = 78,24 cm/min

Vazão = 0,16 L/s

Taxa = 13,04 L/s/m²BABAÇU

Expansão média = 16 cm = 32%

P.C.I = 22,0 cm

ANTRACITO

Expansão média = 14,0 = 28%

P.C.I = -

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)	Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	1	30	1	1	10
2	2	120	2	2	95
3	3	215	3	3	200
4	4	65	4	4	78
5	5	26	5	5	57
6	6	18	6	6	44
7	7	16	7	7	39
8	8	15,5	8	8	29
9	9	15,5	9	9	26
10	10	17,0	10	10	23
11	11	14,5	11	11	20
12	12	15,0	12	12	19,5
13	13	14,0	13	13	19,0
14	14	16,0	14	14	20,0
15	15	14,0	15	15	18,0

TESTE 12

Velocidade: 65 cm/min

Vazão : 0.133 L/s

Taxa : 10,87 L/s/m²**BABAÇU**

Expansão média = 10 cm = 20%

P.C.I = 18,5 cm

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	1	4
2	2	150
3	3	240
4	4	140
5	5	110
6	6	73
7	7	55
8	8	43
9	9	41
10	10	35
11	11	35
12	12	35
13	13	29
14	14	30
15	15	28
16	16	26
17	18	90
18	20	110
19	22	55

A partir do 16º segundo, passou-se a usar uma velocidade $V = 114,91$ cm/min na água de lavagem garantindo uma expansão de 50% durante mais 10 min.

TESTE 13

Velocidade: 102,69 cm/min

Vazão : 0,21 L/s

Taxa : 17,11 L/s/m²

BABAÇU

Expansão média = 23 cm = 46%

P.C.I = 21,0 cm

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	1	45
2	2	150
3	3	104
4	4	88
5	5	53
6	6	38
7	7	35
8	8	30
9	9	30
10	10	28
11	11	26
12	12	26
13	13	24
14	14	23
15	15	23

TESTE 14

Velocidade: 102,69 cm/min

Vazão : 0,21 L/s

Taxa : 17,11 L/s/m²

BABAÇU

Expansão média = 22 cm = 44%

P.C.I = 25 cm

Amostra	Tempo (min)	Turbidez (U.J)
1	1	-
2	2	-
3	3	230
4	4	82
5	5	49
6	6	39,5
7	7	33,0
8	8	28,0
9	9	25,0
10	10	23,0
11	11	22,5
12	12	21,0
13	13	20,5
14	14	20,0
15	15	20,0

Tomou-se o tempo de 15 minutos para a lavagem dos filtros porque verificou-se que a partir deste tempo a variação da turbidez da água de lavagem era desprezível e os valores passavam normalmente a se repetir.

Conforme pode ser visto nos resultados da lavagem, durante a lavagem dos filtros após os testes 11 e 12 adotou-se velocidades ascensionais menores que as usadas anteriormente e verificou-se que os valores da turbidez da água de lavagem, principalmente no teste 11, foram menores. No entanto a aparente idéia de que com velocidades menores obter-se-ia melhores resultados na lavagem foi eliminada quando após a lavagem normal do teste 12 passou-se a usar velocidade de 114,91 cm/min e expansão de 50%. A turbidez, do efluente da lavagem aumentou subitamente, o que indicou que os dois valores, usados anteriormente, das velocidades não haviam sido suficientes para boa limpeza do leito filtrante.

6.2.1 - CONCLUSÕES SOBRE A LAVAGEM

Os dados coletados não foram suficientes para se determinar uma velocidade ascensional ótima para a água usada na lavagem do filtro com areia-babaçu; porém permitiram que se chegasse às seguintes conclusões:

1. Velocidades ascensionais com valores próximos a 100 cm/min, possibilitam uma

boa expansão do leito (40 a 50%), facilitando a limpeza do mesmo. As perdas de carga iniciais eram menores nos testes que sequenciavam aqueles nos quais a lavagem foi realizada com velocidades ascensionais próximas a 100 cm/min do que naquelas em que se usavam velocidades menores. Esta perda inicial também depende muito da taxa usada no teste.

2. Comparando-se com o antracito pode-se verificar que usando-se velocidades iguais para os dois filtros, obteve-se uma expansão maior para o leito babaçu-areia, e a turbidez da água de lavagem no tempo de 10 minutos, por exemplo, era sempre menor para o efluente do filtro com babaçu. O leito com carvão de babaçu requer menor volume de água para lavagem comparado com o antracito.
3. Pode-se observar visualmente uma perfeita distinção entre as camadas de areia e carvão de babaçu. O mesmo não acontece com o leito antracito-areia, neste ocorre uma acentuada mistura.
4. O volume da água requerida para a lava-

gem foi em média menor que 1% do volume filtrado, mesmo considerando o tempo de 15 minutos que foi satisfatório para as condições de ensaio. Com a prática usual das ETAs, que adotam 10 minutos como um tempo suficiente para uma boa limpeza dos filtros o volume de água requerido será menor.

6.3 - TESTE DE RESISTÊNCIA A ABRASÃO

Uma propriedade importante na caracterização de um meio filtrante é a porcentagem do material que se perde por abrasão durante a lavagem dos filtros.

Esta determinação foi feita colocando-se 500 gramas do material a ser testado devidamente seco a 103°C durante 24 horas, em um tubo plástico transparente de 2". Injetou-se pelo fundo do tubo um fluxo suficiente para expandir o leito em 30% e se conservou o dito fluxo por 60hs.

Ao término das 60 hs o material foi retirado e novamente secado a 103°C e pesado.

A porcentagem de perda não deve ser maior que 1%. Esta condição impõe a restrição de que não mais de

5g pode perder-se durante 60 hs de lavagem, o que equivale a permitir em torno de 1% a perda anual do leito filtrante, se este for lavado a cada 24 hs por 10 min.

Os resultados foram satisfatórios, e estão apresentados abaixo:

	DATA	EXPANSÃO	DURAÇÃO	PERDA
BABAÇU	01-11-77	30%	60 hs	0,20 %
BABAÇU	07-11-77	30%	60 hs	0,10 %
BABAÇU	10-11-77	30%	60 hs	0,15 %
ANTRACITO	14-11-77	30%	60 hs	1,5 %

CAPÍTULO VII

C O N C L U S Õ E S

Os resultados obtidos através dessa pesquisa permitiram inferir as seguintes conclusões:

1. O carvão do babaçu apresenta um bom desempenho como meio filtrante em leitos duplos de areia e carvão, permitindo a penetração de flocos através da profundidade do filtro garantindo uma utilização mais eficiente do mesmo.
2. As características do carvão foram compatíveis com as especificações da A.W.W.A. para material filtrante.
3. O problema maior quanto ao uso do babaçu consiste na quebra do material para se conseguir a granulometria desejada.

4. A qualidade do efluente dos filtros apresentou-se com o uso de taxas que atingiram ao valor de $500 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dia, porém está condicionada a um pré-tratamento adequado do afluente.
5. Em relação à lavagem o leito de carvão de babaçu-areia exigiu menos água que o de antracito-areia. Verificou-se ainda uma mistura do antracito com a areia, o mesmo não acontecendo com a areia e o carvão babaçu, ficando bem distinta a interface entre os dois materiais.
6. Os testes relativos à perda de material, por abrasão, durante a lavagem indicaram o babaçu como um material bem melhor que o antracito.

Em resumo, os resultados obtidos na pesquisa concordam com os reportados na revisão bibliográfica em estudos congêneres, podendo-se assim indicar uma nova opção de meio filtrante em filtros rápidos de gravidade com leito duplo, composto de areia e carvão de babaçu.

CAPÍTULO VIII

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A seguir enumera-se alguns tópicos para pesquisas futuras:

1. Aproveitamento do carvão de babaçu como material de filtros de fluxo ascendente para polimento de efluentes de tanques sépticos.
2. Determinação de espessura ótima, granulometria adequada e demais parâmetros para camadas duplas de filtração de água utilizando-se carvão de babaçu.
3. Estudo das possibilidades do emprego do carvão de babaçu como carvão ativado na purificação da água.

ANEXO I

Apresentação de quadros com dados obtidos nos testes de filtração.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 1 Areia: 20 cm
 Boboçu: _____ cm
 Antracita: 50 cm

Teste Nº 03 Taxa de Filtração: 300 m³/m²/dia Duração: 61 hs Volume: 9,739 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 15,48 l/m/s Duração: 10 min. Volume: 114 l

Data: 11 / 07 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
16.00	0	21,0	1,2	1,0	2,0	5,0	6,5	10,5	15,0
17.00	1	20,0	1,5	2,5	4,5	7,5	9,5	14,5	19,0
20.00	4	20,0	1,3	3,5	6,5	11,0	14,0	19,5	25,0
23.00	7	18,0	1,0	4,0	7,5	13,0	16,5	23,0	26,0
02.00	10	16,0	0,9	4,0	8,0	14,0	18,0	23,5	31,0
05.00	13	14,0	1,0	4,5	8,0	14,5	19,0	27	32,5
08.00	16	19,0	1,2	5,0	9,0	16,0	21,0	30,0	36,5
11.00	19	13,0	0,78	5,5	9,5	16,5	21,5	32,0	39,5
14.00	22	9,2	0,8	6,0	11,0	19,0	24,5	35,5	42,5
17.00	25	7,4	0,5	6,5	12,5	21,0	26,5	39,0	47,0
20.00	28	7,5	0,44	7,0	14,0	23,5	28,0	41,5	49,0
23.00	31	11,0	0,66	8,0	15,0	26,0	33,0	45,0	50,0
02.00	34	12,0	0,75	9,5	17,0	29,0	35,0	50,0	59,0
05.00	37	10,0	0,84	11,0	18,5	31,5	36,5	52,5	66,5
08.00	40	12,5	0,75	11,5	20,0	33,5	42,5	58,5	70,5
11.00	43	12,0	0,78	12,0	22,0	36,0	45,0	65,0	74,0
14.00	46	11,0	0,8	13,5	23,5	39,0	50,0	73,0	80,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 2 Areia: 20 cm

Babóçu: 50 cm

Antrocito: _____ cm

Teste Nº 03 Taxa de Filtração: 300 m³/m²/dia Duração: 64 h Volume: 10,218 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 15,48 l/m/s Duração: 10 min. Volume: 114 l

Data: ____/____/____

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
16.00	0	21,0	1,5	1,5	3,0	5,5	7,0	11,0	16,0
17.00	1	20,0	1,5	2,5	5,0	80,0	9,5	14,0	19,0
20.00	4	20,0	1,1	4,0	7,5	12,0	14,0	20,0	25,5
23.00	7	18,0	0,9	4,5	8,5	14,0	16,5	23,5	29,5
02.00	10	16,0	0,8	5,0	10,0	16,5	20,0	28,0	35,0
05.00	13	14,0	0,9	5,0	10,0	17,0	20,0	29,0	36,0
08.00	16	19,0	1,3	6,0	10,5	18,0	21,0	31,5	38,5
11.00	19	13,0	0,8	6,5	11,5	19,0	22,0	33,5	41,0
14.00	22	9,2	0,7	7,0	12,5	21,0	24,0	36,5	44,5
17.00	25	7,4	0,5	7,5	14,0	23,0	27,0	40,5	49,0
20.00	28	7,5	0,42	9,0	15,0	25,0	29,0	43,0	41,5
23.00	31	11,0	0,72	10,0	17,0	28,0	32,0	48,0	57,0
02.00	34	12,0	0,93	11,0	19,0	30,0	35,5	54,0	64,0
05.00	37	10,0	0,87	12,5	21,0	35,5	40,5	61,0	71,0
08.00	40	12,5	0,88	13,5	23,0	37,5	43,0	64,0	74,5
11.00	43	12,0	0,8	14,5	25,0	41,0	48,0	66,0	76,5
14.00	46	11,0	0,85	18,0	27,0	46,0	52,5	67,5	80,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 1 Areia: 20 cm

Babóçú: - cm

Antracito: 50 cm

Teste Nº 04 Taxa de Filtração: 300 m³/m²/dia Duração: 70 hs Volume: 11,176 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 15,48 l/m/s Duração: 10 min. Volume: 114 l

Data: 15 / 07 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	0	4,3	1,98	1,0	2,0	2,5	6,5	10,0	13,0
14.00	3	4,5	1,0	1,5	2,5	3,0	7,5	10,5	13,5
17.00	6	3,7	0,7	2,0	3,0	3,5	9,0	13,0	16,5
20.00	9	4,2	0,8	2,5	4,0	5,0	11,0	14,5	18,0
23.00	12	14,0	1,7	3,5	4,5	6,0	11,5	15,0	18,5
02.00	15	12,0	1,4	7,0	5,0	8,5	12,0	16,0	19,0
05.00	18	11,0	1,0	8,0	8,5	9,5	14,0	18,5	23,5
08.00	21	6,7	1,1	8,5	9,0	10,0	15,5	20,5	24,5
11.00	24	5,9	0,62	9,0	9,5	11,0	19,0	24,0	28,0
14.00	27	6,0	0,65	9,5	10,0	13,5	21,0	27,5	32,0
17.00	30	9,6	1,42	10,0	12,0	18,5	24,5	33,0	38,0
02.00	33	9,5	0,53	10,5	12,5	19,0	25,5	37,5	41,5
23.00	36	9,7	0,37	12,5	16,5	25,5	34,0	41,0	45,0
02.00	39	15,0	0,34	13,5	18,5	29,5	36,5	42,0	48,0
05.00	42	16,0	0,40	15,0	20,0	31,0	40,0	45,0	54,5
08.00	45	14,0	0,70	16,0	22,5	34,0	45,0	50,0	59,0
11.00	48	15,0	0,46	20,0	26,0	38,5	52,0	61,0	67,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 2 Areia: 20 cm

Babóçú: _____ cm

Antracito: 50 cm

Teste Nº 04 Taxa de Filtração: 300 m³/m²/dia Duração: 60 hs Volume: 9.579 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 15,48 l/m /s Duração: 10 min. Volume: 114 l

Data: 15 / 07 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	0	4,3	2,0	1,0	2,0	3,0	4,0	6,5	11,0
14.00	3	4,5	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	7,0	11,5
17.00	6	3,7	0,7	2,0	3,0	4,5	5,0	9,0	13,0
20.00	9	4,2	0,75	2,5	4,5	6,0	7,0	9,5	14,5
23.00	12	14,0	1,9	3,0	4,5	6,0	8,0	11,0	15,0
02.00	15	12,0	1,4	4,0	5,5	7,0	10,5	13	18,0
05.00	18	11,0	1,0	4,0	7,5	10,5	12,0	17,0	20,5
08.00	21	6,7	0,8	7,0	9,5	12,0	3,5	18,5	23,5
11.00	24	5,9	0,66	9,0	12,0	15,0	16,0	20,5	27,0
14.00	27	5,0	0,63	12	13,5	17,0	18,0	24,0	29,5
17.00	30	9,6	0,44	13,0	17,5	21,5	23,0	29,5	35,0
20.00	33	9,5	0,65	15,0	20,0	24,0	25,5	33,0	38,5
23.00	36	9,7	0,45	18,5	23,5	27,5	29,5	37,5	43,0
02.00	39	15,0	0,50	20,0	27,0	32,0	34,0	42,0	48,5
05.00	42	16,0	0,48	23,0	31,0	37,0	38,5	48,0	54,5
08.00	45	14,0	0,65	25,0	33,5	39,5	42,0	52,0	58,5
11.00	48	15,0	0,62	30,0	39,5	46,0	49,5	56,0	67,5

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO

Filtro Nº 1Areia: 20 cm

Babaçu: _____ cm

Antracito: 50 cmTeste Nº 05Taxa de Filtração: 325 m³/m²/diaDuração: 83 hsVolume: 14.357 m³

Lavagem do Filtro

Taxa: 15,48 l/m/sDuração: 10 min. Volume: 114 lData: 19 / 07 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
18.00	0	20	9,5	2,0	4,0	7,5	10,5	15,5	17,5
20.00	2	5,8	1,1	2,5	4,5	7,5	10,5	15,5	17,5
23.00	5	4,0	0,63	3,0	5,0	8,0	11,0	14,0	18,0
02.00	8	4,5	0,65	7,0	5,0	8,0	11,5	15,5	19,0
05.00	11	3,5	0,58	8,0	6,0	10,0	13,5	17,5	22,0
08.00	14	3,6	0,9	4,5	7,0	11,0	15,0	19,5	23,5
11.00	17	3,4	0,7	5,0	7,5	11,0	16,0	20,5	25,0
14.00	20	4,1	0,6	5,5	9,0	14,0	19,0	24,5	28,5
17.00	23	3,5	0,6	7,0	11,0	17,0	23,0	28,0	33,0
20.00	26	3,2	0,30	9,0	14,0	21,0	28,0	34,0	40,0
23.00	29	3,1	0,38	10,0	14,5	22,0	29,0	36,0	42,0
02.00	32	2,9	0,35	11,0	15,0	25,0	34,0	39,0	46,0
05.00	35	2,5	0,45	12,0	17,5	27,0	35,5	43,0	50,0
08.00	33	2,3	0,6	12,0	18,0	27,5	36,0	43,5	50,5
11.00	41	2,2	0,32	12,5	18,5	28,0	36,5	44,0	51,0
14.00	44	2,2	0,32	15,0	21,0	32,0	41,5	49,5	57,0
17.00	47	2,4	0,3	16,0	23,5	36,0	44,0	52,5	61,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 1 Areia: _____ cm

Bobacú: _____ cm

Antracito: _____ cm

Teste Nº 06 Taxa de Filtração: 350 m³/m²/dia Duração: 83 hs Volume: 15,463 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 14,81 l/m/s Duração: 12 min. Volume: 131 l

Data: 25 / 07 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	0	20	6,3	3,0	5,0	8,5	13,5	19,0	23,0
14.00	3	8,5	1,5	5,0	7,0	10,0	14,5	17,5	22,0
17.00	6	11,0	1,5	5,0	7,0	11,0	13,5	19,5	24,0
20.00	9	6,5	0,9	6,0	8,5	13,0	14,5	22,0	26,0
23.00	12	6,0	0,84	6,5	9,5	14,5	19,5	24,5	28,5
2.00	15	4,8	0,6	10,0	14,0	17,0	23,0	28,0	33,0
5.00	18	5,0	0,65	10,5	14,5	19,5	25,5	31,0	36,0
8.00	21	4,5	0,65	11,5	15,5	22,5	28,0	34,5	39,5
11.00	24	4,5	0,7	12,5	18,0	23,0	31,5	38,5	44,0
14.00	27	3,5	0,4	14,0	19,5	27,5	35,0	42,0	47,5
17.00	30	3,0	0,4	17,0	23,5	33,0	40,0	47,0	54,0
20.00	33	2,6	0,35	20,0	27,0	37,5	46,5	55,5	62,0
23.00	36	2,5	0,40	21,0	30,0	40,0	50,0	60,0	66,0
2.00	39	2,3	0,5	22,0	32,0	41,0	51,0	61,5	68,0
5.00	42	2,0	0,56	23,0	33,0	41,5	52,5	63,0	70,0
10.00	43	4,4	2,0	16,5	27,5	40,5	53,5	65,0	75,5
14.00	47	7,0	0,98	17,0	27,5	37,0	48,0	58,5	65,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 2 Areia: 20 cm
 Baboçú: 50 cm
 Antracito: _____ cm

Teste Nº 06 Taxa de Filtração: 350 m³/m²/dia Duração: 98 hs Volume: 18.257 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 14,81 l/m/s Duração: 12 min. Volume: 131 l

Data: 27 / 07 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	0	20,0	6,0	2,5	4,0	6,0	7,0	11,0	17,5
14.00	3	20,0	1,4	4,5	6,0	9,0	9,5	11,5	18,5
17.00	6	10,0	1,6	5,5	7,5	9,5	11,5	15,0	22,0
20.00	9	6,5	0,87	6,0	8,5	11,5	13,0	17,0	23,5
23.00	12	6,0	0,98	7,0	9,5	9,5	14,0	19,0	25,0
02.00	15	4,8	0,75	8,5	11,0	13,0	15,0	23,0	28,0
05.00	18	5,0	0,80	10,0	13,0	16,5	18,0	25,0	30,5
08.00	21	4,5	0,73	11,0	14,5	18,5	20,0	27,0	32,5
11.00	24	4,5	0,7	13,5	17,0	21,0	23,0	29,0	35,0
14.00	27	3,5	0,48	14,5	19,0	23,0	25,0	32,5	37,0
17.00	30	3,0	0,45	17,5	22,5	27,0	29,0	37,0	43,0
20.00	33	2,6	0,45	20,0	25,5	30,5	32,5	41,5	48,5
23.00	36	2,5	0,47	22,0	28,0	34,0	36,0	46,0	52,5
20.00	39	2,3	0,44	25,0	31,0	36,0	40,0	50,0	55,0
50.00	42	2,0	0,40	28,0	34,5	40,0	42,5	52,0	59,5
10.00	43	4,4	2,1	12,5	18,0	22,5	25,0	32,0	42,5
14.00	47	7,0	1,5	7,5	11,5	15,5	17,5	27,0	23,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO

Filtro Nº 1Areia: 20 cmBabouçá: 50 cm

Antracito: _____ cm

Teste Nº 07Taxa de Filtração: 350 m³/m²/diaDuração: 87 hsVolume: 16,203 m³

Lavagem do Filtro

Taxa: 16,30 l/m/sDuração: 15 mn. Volume: 180 lData: 08 / 08 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	0	2,0	1,7	2,0	3,5	6,0	9,0	13,0	17,0
14.00	3	2,0	0,87	3,0	5,5	9,5	14,0	19,5	24,5
17.00	6	1,5	0,71	4,5	6,0	10,0	15,0	20,5	26,0
20.00	9	1,7	0,56	3,0	4,5	8,0	17,0	20,5	25,0
23.00	12	1,5	0,60	3,5	5,0	8,5	11,0	21,5	22,0
02.00	15	1,5	0,40	4,0	6,0	10,0	14,0	22,0	23,0
05.00	18	1,5	0,39	5,0	7,0	11,0	15,0	23,0	26,0
08.00	21	1,3	0,35	6,5	8,0	11,5	16,5	23,5	27,0
11.00	24	1,3	0,34	6,0	8,5	13,0	18,0	24,0	28,5
14.00	27	1,2	0,40	6,5	10,0	15,5	19,0	25,0	29,5
17.00	30	1,2	0,46	7,5	10,5	17,0	22,0	25,0	30,0
20.00	33	1,2	0,53	8,0	12,0	18,0	24,0	31,0	36,5
23.00	36	1,1	0,4	9,0	12,0	19,0	25,0	32,0	37,0
02.00	39	1,2	0,3	11,0	13,0	21,0	27,0	35,0	40,0
05.00	42	1,4	0,6	13	16,0	24,0	29,0	38,0	42,0
08.00	45	1,5	0,38	14,5	19,0	26,5	34,0	41,5	49,0
11.00	48	1,5	0,38	16,0	21,0	29,0	36,5	45,0	52,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 2 Areia: 20 cm
 Baboçú: 20 cm
 Antracito: _____ cm

Teste Nº 07 Taxa de Filtração: 350 m³/m²/dia Duração: 99 hs Volume: 18,444 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 16,30 l/m²/s Duração: 15 min. Volume: 180 l

Data: 08 / 08 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	0	2,0	1,8	2,0	3,0	4,5	6,0	10,5	15,0
14.00	3	2,0	0,78	3,0	4,5	6,0	7,5	11,5	17,5
17.00	6	1,5	0,70	3,5	5,0	6,5	8,0	12,5	18,0
20.00	9	1,7	0,56	4,0	5,5	7,0	12,0	12,5	19,0
23.00	12	1,5	0,5	4,5	6,5	8,0	12,5	13,5	18,0
02.00	15	1,5	0,49	5,0	6,5	8,5	13,0	13,5	19,0
05.00	18	1,5	0,42	5,5	6,5	9,0	13,5	15,0	20,0
08.00	21	1,3	0,37	5,5	6,5	9,0	14,0	15,5	21,0
11.00	24	1,3	0,37	6,0	7,0	9,5	14,5	16,0	21,5
14.00	27	1,2	0,45	7,0	8,5	10,0	16,0	17,0	22,0
17.00	30	1,2	0,51	7,5	8,5	11,5	15,0	17,5	23,0
20.00	33	1,2	0,53	8,5	10,0	12,0	17,0	18,0	24,5
23.00	36	1,1	0,4	8,0	9,5	13,5	16,0	21,0	26,0
02.00	39	1,2	0,36	9,0	11,0	15,0	16,0	22,0	27,0
05.00	42	1,4	0,9	10,0	14,0	17,0	19,0	23,0	30,0
08.00	45	1,5	0,40	11,0	14,5	17,5	18,5	25,5	32,0
11.00	48	1,5	0,40	12,0	15,5	17,5	20,0	26,0	32,5

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 1 Areia: 20 cm

Boboçú: _____ cm

Antracito: 50 cm

Teste Nº 08 Taxa de Filtração: 375 m³/m²/dia Duração: 72 hs Volume: 14,368 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 13,61 l/m/s Duração: 15 min. Volume: 150 l

Data: 17 / 08 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
08.00	0	22,0	5,1	2,5	4,5	8,5	12	16,5	21,0
11.00	3	15,0	1,6	3,0	6,0	10,0	16,5	22,0	30,0
14.00	6	8,4	1,4	6,0	10,0	17,0	24,0	31,0	37,0
17.00	9	6,24	0,9	7,0	12,0	21,0	29,0	37,0	40,0
20.00	12	5,0	0,71	8,0	12,5	23,5	32,5	40,5	42,0
23.00	15	5,0	0,61	8,5	13,0	24,0	33,0	42,0	45,0
02.00	18	9,8	0,58	10,0	15,0	26,0	35,0	44,0	48,0
05.00	21	9,8	0,51	12,0	17,0	28,0	37,0	46,0	51,0
08.00	24	8,6	0,45	12,0	19,0	30,5	41,5	50,5	58,0
11.00	27	5,65	0,65	12,5	19,5	31,5	42,5	52,0	60,0
14.00	30	4,7	0,35	13,0	19,5	33,0	43,5	54,5	62,0
17.00	33	4,35	0,35	14,0	21,0	35,0	47,0	58,0	68,5
20.00	36	3,9	0,31	15,0	24,5	39,0	52,5	66,0	75,0
23.00	39	3,7	0,25	17,0	26,0	41,0	55,0	70,0	80,0
02.00	42	3,0	0,27	18,0	29,0	46,0	59,0	75,0	86,0
05.00	45	3,0	0,24	20,0	33,0	53,0	66,0	84,0	99,0
08.00	48	2,8	0,22	23,0	38,0	60,0	77,0	96,0	116

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 2 Areia: _____ cm
 Bobacú: _____ cm
 Antracito: _____ cm

Teste Nº 08 Taxa de Filtração: 375 m³/m²/dia Duração: 84 hs Volume: 16,763 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 13,61 l/m/s Duração: 15 min. Volume: 150 l

Data: 17 / 08 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
08.00	0	22,0	7,0	2,5	4,0	5,5	6,5	9,0	10,5
11.00	3	15,0	1,8	3,0	5,0	7,5	8,0	12,0	16,0
14.00	6	8,4	1,7	4,0	7,0	9,0	11,0	16,0	21,0
17.00	9	6,3	0,8	6,0	9,0	12,0	14,0	19,0	25,0
20.00	12	5,0	0,65	6,5	10,5	13,5	15,0	20,0	27,0
23.00	15	5,0	0,6	8,0	12,0	15,0	18,0	23,0	30,0
02.00	18	9,8	1,1	10,0	15,0	17,0	20,0	25,0	35,0
05.00	21	9,8	1,1	11,0	16,0	20,0	22,0	28,0	38,0
08.00	24	8,6	0,91	11,5	16,5	21,0	23,5	31,0	39,5
11.00	27	5,65	0,8	14,0	20,0	24,0	27,0	35,0	45,0
14.00	30	4,7	0,57	16,0	23,0	27,0	31,0	40,0	51,0
17.00	33	4,35	0,5	17,0	24,0	29,0	33,0	42,0	53,0
20.00	36	3,9	0,41	18,0	25,0	32,0	34,0	46,0	53,0
23.00	39	3,7	0,38	20,0	28,0	35,0	38,0	48,0	59,0
02.00	42	3,0	0,34	22,0	30,0	37,0	40,0	52,0	65,0
05.00	45	3,0	0,30	24,0	29,0	38,0	46,0	62,0	70,0
08.00	48	2,8	0,29	26,5	37,5	44,5	48,0	62,0	74,5

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 01 Areia: 20 cm

Babóçú: _____ cm

Antracito: 50 cm

Teste Nº 11 Taxa de Filtração: 325 m³/m²/dia Duração: 69 hs Volume: 11,936 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 13,04 l/m/s Duração: 15 min. Volume: 144 l

Data: 29 / 08 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
14.00	0	15	1,5	3,0	4,5	8,0	11,0	15,0	19,0
17.00	3	9,8	1,0	5,0	8,0	13,0	18,0	22,0	27,0
20.00	6	5,0	0,85	6,0	10,5	17,0	23,0	28,5	35,0
23.00	9	14,0	1,1	6,0	10,5	17,5	25,0	30,0	37,0
02.00	12	13,0	0,99	6,5	11,0	17,5	26,0	32,0	39,0
05.00	15	6,3	0,87	6,5	11,0	18,0	27,0	34,0	40,0
08.00	18	5,0	0,81	7,0	11,5	19,0	27,0	34,0	41,0
11.00	21	4,1	0,55	7,5	11,5	19,5	28,0	35,0	41,0
14.00	24	3,8	0,64	7,5	12,0	20,0	28,5	36,0	42,0
17.00	27	3,5	0,74	8,0	12,5	20,0	29,0	37,0	43,0
20.00	30	8,0	0,85	11,0	17,5	28,0	40,0	52,0	62,0
23.00	33	9,5	0,60	12,0	18,0	29,0	42,0	54,0	64,0
02.00	36	14,0	0,65	12,0	20,0	32,0	44,0	55,0	65,0
05.00	39	13,0	0,85	17,0	26,0	38,0	50,0	60,0	70,0
08.00	42	12,0	0,88	21,0	31,0	45,0	61,0	74,0	83,0
11.00	45	9,5	0,87	24,5	36,5	53,0	69,5	84,5	94,0
14.00	48	7,8	0,54	26,0	38,0	54,0	72,0	86,0	95,5

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 02 Areia: 20 cm
 Bobapô: 50 cm
 Antracito: _____ cm

Teste Nº 12 Taxa de Filtração: 400 m³/m²/dia Duração: 105 hs Volume: 22,352 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 10,87 l/m/s Duração: 15 min. Volume: 120 l

Data: 06 / 09 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	0	7,6	2,3	5,0	8,0	12,0	13,5	20,0	22,0
14.00	3	7,0	2,0	5,0	8,0	11,0	14,0	21,0	29,0
17.00	6	6,1	1,7	8,0	10,5	14,5	15,5	23,0	30,5
20.00	9	5,3	1,5	8,5	11,5	15,0	16,5	25,5	33,0
23.00	12	4,9	0,96	10,0	13,0	16,0	19,0	26,0	34,0
02.00	15	4,3	0,97	11,0	14,0	17,0	20,0	27,0	34,0
05.00	18	4,2	0,93	12	15,0	18,0	21,0	28,0	35,0
08.00	21	4,0	0,86	13,0	16,0	20,0	22,5	31,0	40,0
11.00	24	4,0	0,85	13,5	18,0	23,5	24,5	35,0	45,0
14.00	27	3,8	0,85	15,0	20,0	25,0	26,0	37,0	47,0
17.00	30	3,6	0,8	16,0	21,0	26,0	27,0	39,0	50,0
20.00	33	3,4	0,8	16,0	22,0	27,5	28,5	39,5	50,0
23.00	36	3,5	0,8	17,0	22,0	29,0	30,0	41,0	52,0
02.00	39	3,2	0,7	18,0	24,0	31,0	32,0	44,0	55,0
05.00	42	3,4	0,7	20,0	27,0	33,0	35,0	48,0	57,0
08.00	45	3,7	0,8	20,5	26,5	35,5	39,5	53,0	63,5
11.00	48	3,5	0,8	24,0	31,0	37,0	41,0	56,0	68,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 02 Areia: 20 cm
 Bobapú: 50 cm
 Antracito: _____ cm
 Teste Nº 13 Taxa de Filtração: 425 m³/m²/dia Duração: 99 hs Volume: 22,394 m³
 Lavagem do Filtro Taxa: 17,11 l/m/s Duração: 15 min. Volume: 189 l
 Data: 12 / 09 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
17.00	0	6,0	2,5	2,5	4,5	7,0	8,5	13,0	18,5
20.00	3	4,8	2,3	3,0	4,5	7,5	9,0	13,5	19,0
23.00	6	4,8	2,0	4,0	5,0	8,0	10,0	14,0	20,0
02.00	9	4,3	2,0	4,0	6,0	9,0	10,0	15,0	21,0
05.00	12	4,2	1,0	5,0	7,0	10,0	11,0	16,0	22,0
08.00	15	4,5	0,9	5,0	8,0	11,0	12,0	18,5	24,5
11.00	18	4,75	1,0	6,0	9,0	12,0	13,5	20,0	26,5
14.00	21	4,75	0,9	6,5	10,5	14,5	15,5	23,0	29,5
17.00	24	4,7	0,8	7,5	12,0	15,0	17,0	24,0	30,0
20.00	27	4,7	0,65	9,0	13,0	15,5	19,0	24,5	31,0
23.00	30	3,5	0,82	10,0	14,0	17,0	19,0	26,0	33,0
02.00	33	3,5	0,65	11,0	15,0	19,0	21,0	28,0	36,0
05.00	36	4,8	0,65	12,0	16,0	21,0	23,0	30,0	38,0
08.00	39	4,0	0,60	13,0	18,0	22,0	24,5	31,5	39,5
11.00	42	4,0	0,65	14,0	20,0	23,0	26,5	33,0	41,5
14.00	45	4,6	0,65	15,0	21,0	25,5	27,0	33,5	42,0
17.00	48	4,8	0,70	18,0	24,5	30,0	32,0	40,5	47,5

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO Filtro Nº 2 Areia: 20 cm

Bebopó: 50 cm

Antracito: _____ cm

Teste Nº 14 Taxa de Filtração: 500,00 m³/m²/dia Duração: 144 hs Volume: 38,318 m³

Lavagem do Filtro Taxa: 17,11 l/m²/s Duração: 102,69 min. Volume: 189 l

Data: 01 / 11 / 77

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
08.00	0	4,5	2,0	2,5	4,0	7,0	8,5	14,0	21,0
11.00	3	4,3	1,5	3,0	4,5	7,5	9,0	15,0	22,0
14.00	6	4,0	1,3	3,5	5,5	8,5	10,5	16,5	23,5
17.00	9	4,0	1,0	4,0	6,0	9,5	11,0	18,0	25,5
20.00	12	3,2	0,95	5,0	8,0	12,0	13,0	21,0	28,0
23.00	15	3,2	0,85	6,0	9,0	13,0	15,0	22,0	30,0
02.00	18	3,25	0,85	7,0	10,0	14,0	17,0	24,0	32,0
05.00	21	3,25	0,8	8,0	11,0	15,0	19,0	25,0	35,0
08.00	24	3,5	0,75	8,5	12,5	17,0	19,5	28,0	37,5
11.00	27	3,0	0,65	9,5	13,5	18,0	21,0	29,0	39,0
14.00	30	3,0	0,60	10,5	15,0	20,0	22,5	31,0	41,5
17.00	33	3,0	0,55	12,0	17,0	23,0	25,5	35,5	45,0
20.00	36	2,8	0,68	13,0	18,0	24,0	27,0	38,0	47,0
23.00	39	2,9	0,48	15,0	20,0	26,0	29,0	40,0	49,0
02.00	42	2,8	0,50	17,0	23,0	28,0	31,0	43,0	54,0
05.00	45	2,8	0,56	19,0	26,0	30,0	33,0	45,0	56,0
08.00	48	2,3	0,45	19,0	26,0	33,0	35,5	48,0	58,5

HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	51	2,8	0,5	21,5	28,0	30,5	33,0	42,5	62,5
14.00	54	2,8	0,55	23,0	31,5	40,0	43,5	57,5	69,0
17.00	57	2,6	0,42	25,0	33,5	42,5	46,0	60,0	72,0
20.00	60	2,4	0,38	26,5	36,5	40,5	48,5	62,5	75,0
23.00	63	2,45	0,37	27,0	38,0	45,0	50,0	65,0	76,0
02.00	66	2,75	0,45	29,0	40,0	48,0	53,0	67,0	78,0
05.00	69	2,5	0,5	31,0	42,0	52,0	55,0	70,0	82,0
08.00	72	2,3	0,45	33,5	45,0	55,5	59,0	75,0	87,0
11.00	75	2,3	0,38	40,0	52,0	62,0	65,5	22,5	95,0
14.00	78	2,3	0,45	35,0	47,5	60,5	65,0	81,0	95,0
17.00	81	2,3	0,43	36,0	49,0	60,0	64,0	79,5	91,5
20.00	84	2,3	0,42	40,0	52,0	68,0	73,0	88,0	100,0
23.00	87	2,3	0,41	42,0	54,0	68,0	76,0	90,0	105,0
02.00	90	2,4	0,46	44,0	56,0	72,0	78,0	96,0	110,0
05.00	93	2,3	0,45	45,0	59,0	73,0	79,5	97,5	112,0
08.00	96	2,1	0,47	46,0	61,0	75,0	81,0	99,0	115,0
11.00	99	2,1	0,40	47,0	64,0	78,0	82,5	101,0	115,5
14.00	102	2,0	0,38	47,5	64,5	78,5	83,0	102,0	116,0
17.00	105	2,0	0,37	48,0	65,0	79,5	85,0	104,5	117,0
20.00	108	2,0	0,55	49,0	67,0	81,0	86,0	105,0	120,0
23.00	111	2,1	0,41	50,0	68,0	83,0	89,0	108,0	122,0
02.00	114	2,4	0,56	51,0	69,0	85,0	90,0	110,0	125,0
05.00	117	2,3	0,49	52,0	70,0	87,0	92,0	112,0	128,0
08.00	120	2,3	0,5	53,0	70,5	88,0	93,0	113,0	129,0
11.00	123	2,3	0,55	53,5	71,5	89,0	94,0	114,0	130,5
14.00	126	2,3	0,50	55,0	73,0	91,0	96,0	116,0	133,0
17.00	129	2,6	0,60	57,0	74	93,0	98,5	117,0	135,0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDOS EM FILTROS PILOTOS

Estação de Tratamento: ALTO BRANCO

Filtro Nº 02

Areia: _____ cm

Babóçu: _____ cm

Antracito: _____ cm

Teste Nº 15Taxa de Filtração: 600 m³/m²/diaDuração: 45 hsVolume: 14,370 m³

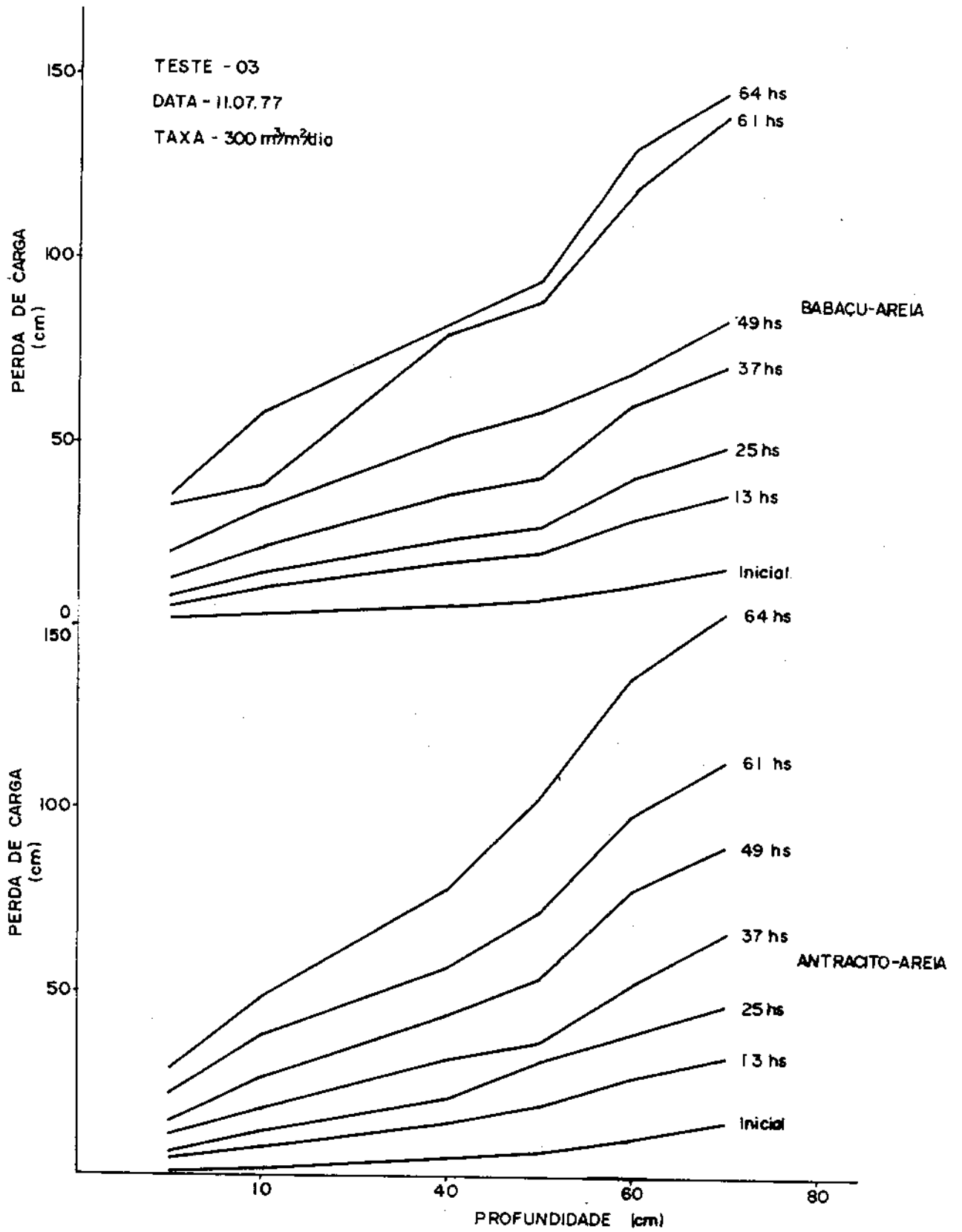
Lavagem do Filtro

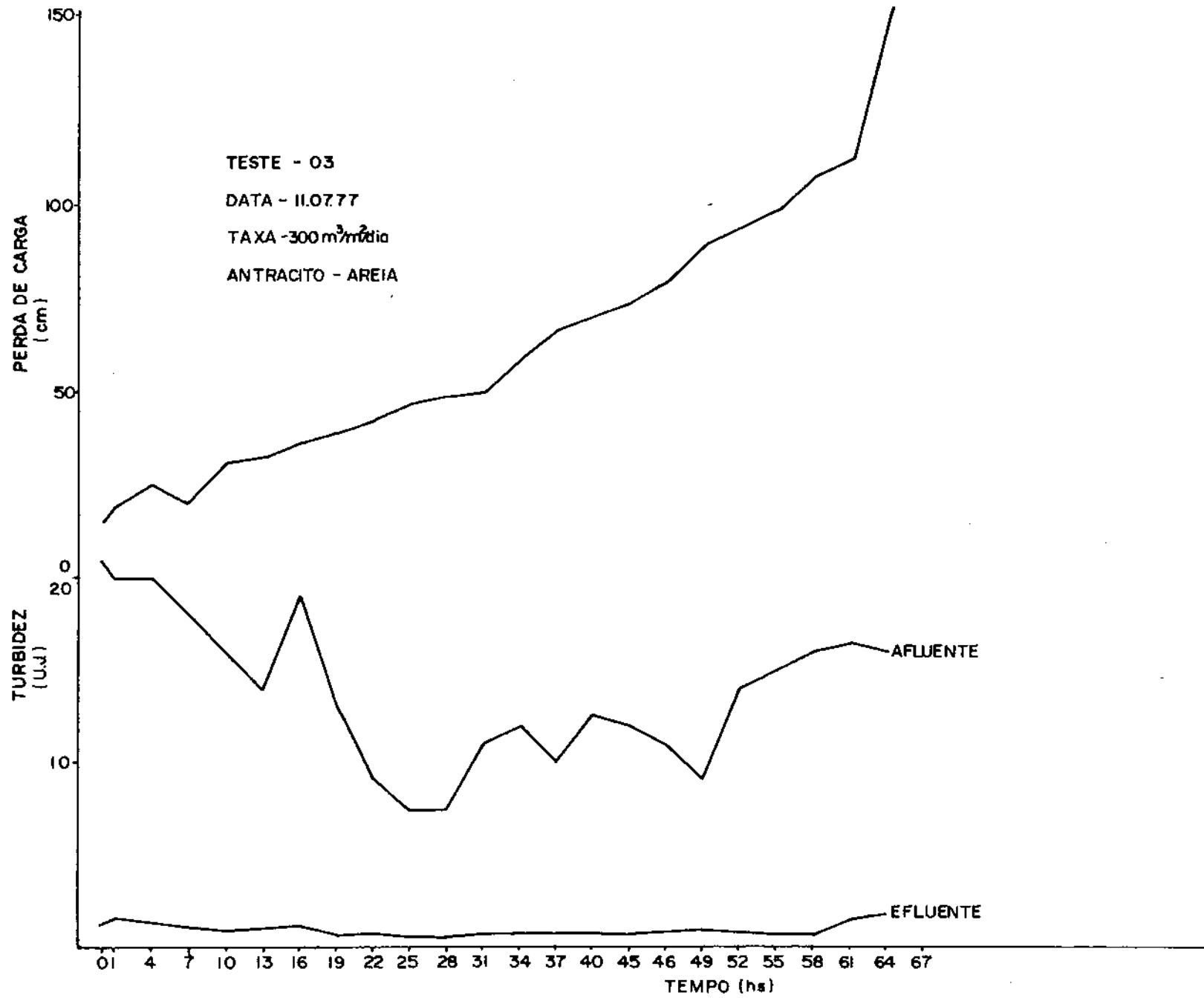
Taxa: 17,11 l/m/sDuração: 102,69 min. Volume: 189 lData: 07 / 11 / 77

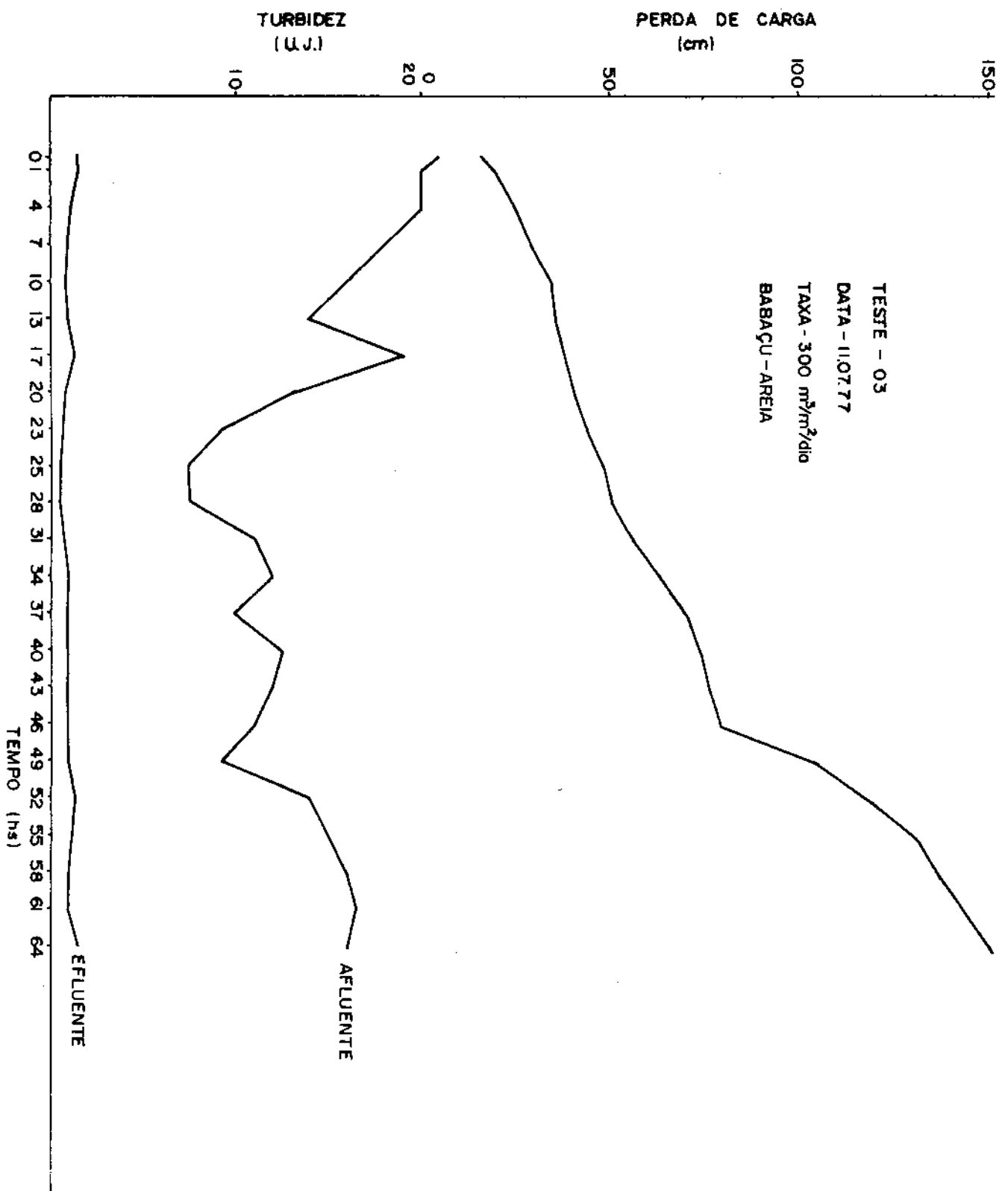
HORA DA LEITURA	TEMPO DE FILTRAÇÃO (hs)	TURBIDEZ U.J.		PERDA DE CARGA (cm)					
		AFLUENTE	EFLUENTE	1	2	3	4	5	6
11.00	0	6,0	4,5	3,0	5,0	8,5	11,0	16,5	25,0
14.00	3	2,3	1,1	3,5	5,5	9,5	11,0	17,5	25,5
17.00	6	2,1	0,94	3,0	6,0	9,5	11,0	17,5	26,0
20.00	9	2,3	0,95	3,0	6,5	10,0	11,5	18,0	27,0
23.00	12	2,0	0,84	3,5	6,5	10,5	12,0	18,5	28,0
02.00	15	2,0	0,89	4,0	7,0	11,0	12,5	19,5	29,0
05.00	18	2,1	0,78	4,5	7,5	11,5	13,0	20,0	30,0
08.00	21	2,1	0,77	5,0	8,0	12,0	13,5	21,5	30,0
11.00	24	2,1	0,76	6,0	7,5	12,5	14,0	22,0	31,0
14.00	27	2,1	0,75	6,5	9,0	13,0	15,0	23,5	32,5
17.00	30	2,0	0,81	7,0	9,5	13,5	15,0	23,5	32,5
20.00	33	1,9	0,80	8,0	10,0	14,0	16,0	25,0	35,0
23.00	36	2,0	0,75	9,0	11,0	15,0	17,0	26,0	36,0
02.00	39	2,0	0,84	10,0	12,0	16,0	18,0	27,0	37,0
05.00	42	2,0	0,80	11,0	13,0	17,0	19,0	28,0	38,0
08.00	45	5,5	1,5	12,0	14,5	18,0	20,5	30,0	40,5
11.00	48	5,4	1,5	13,0	16,0	20,5	23,0	33,0	44,0

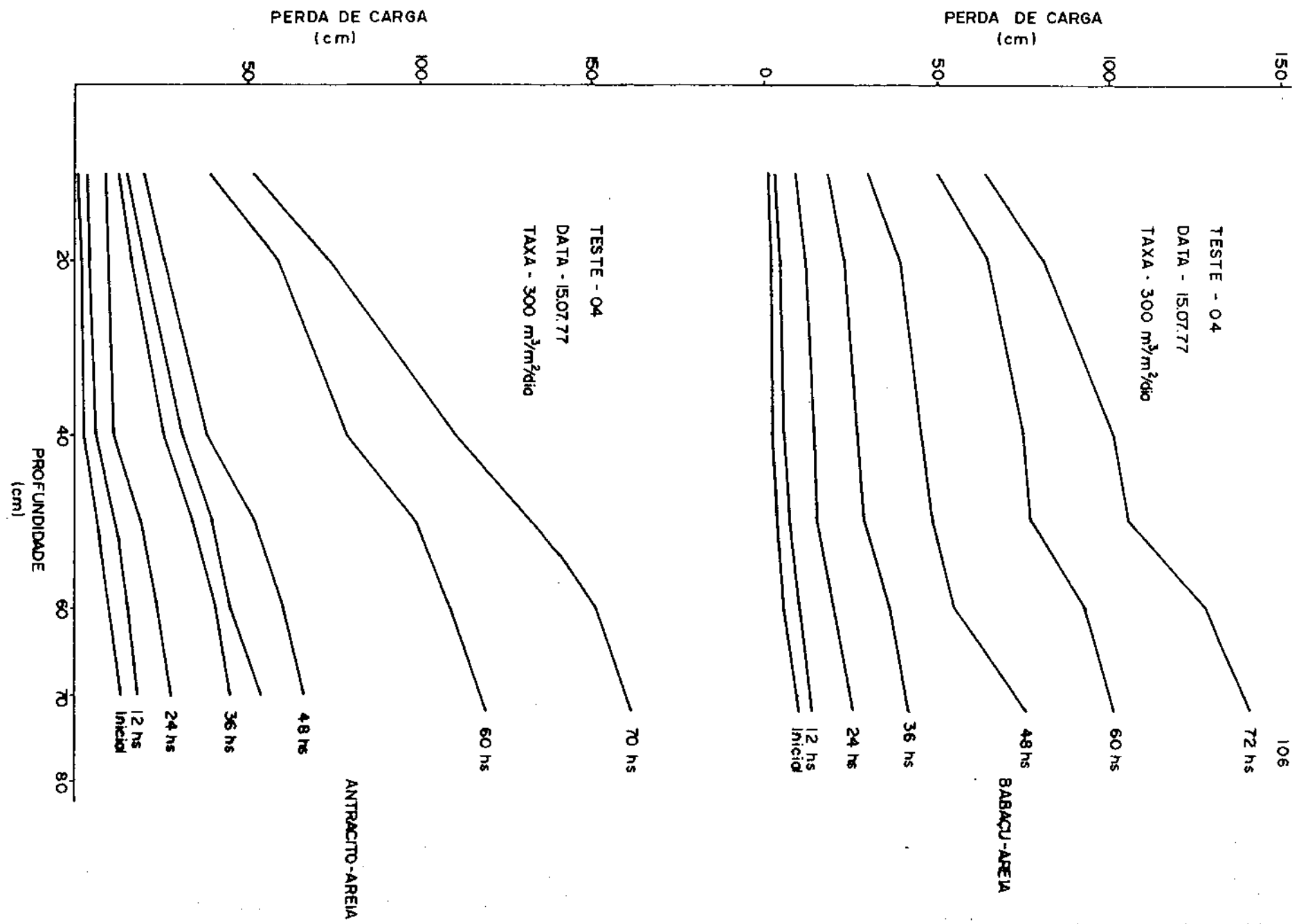
ANEXO II

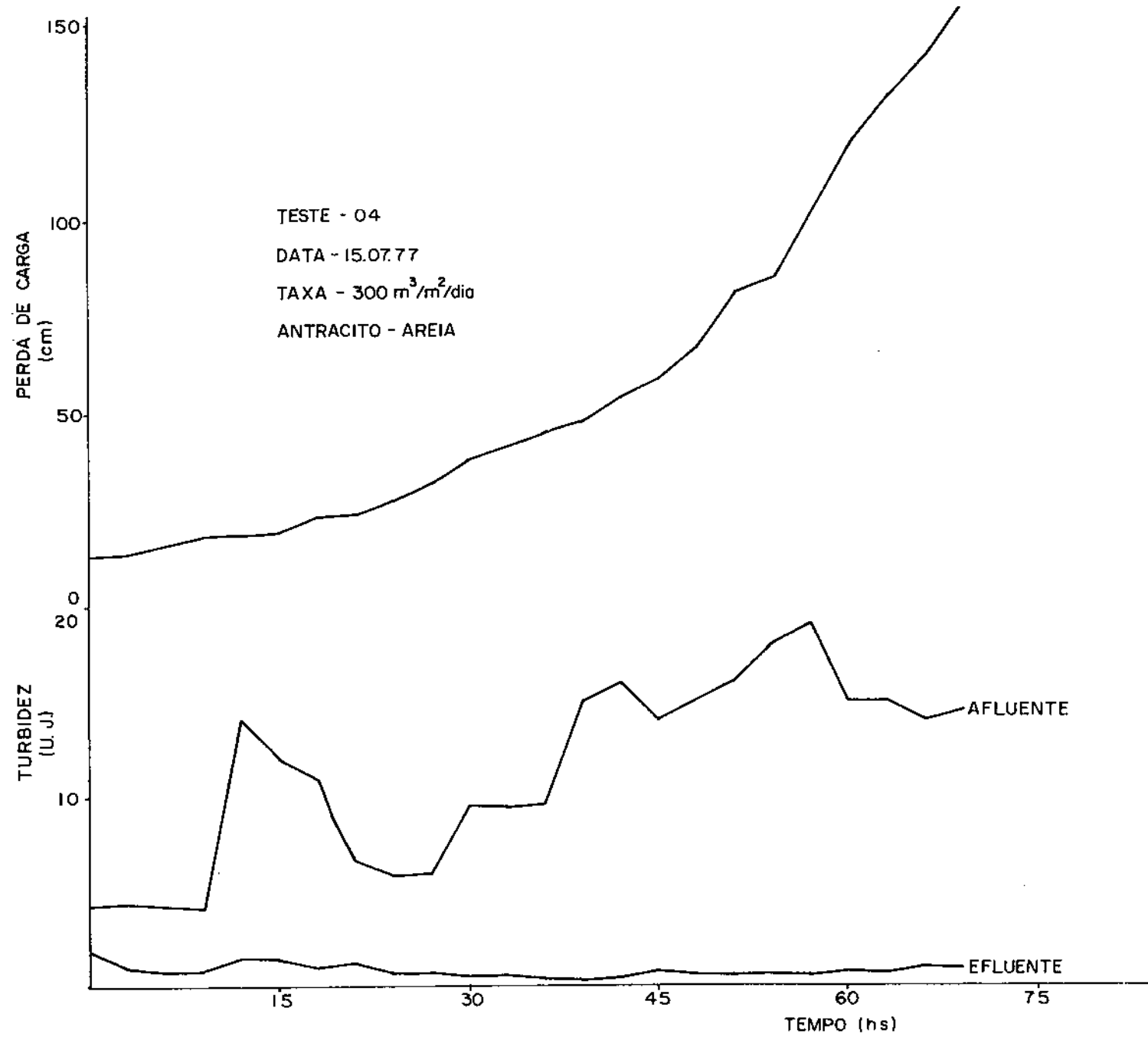
Apresentação dos Gráficos

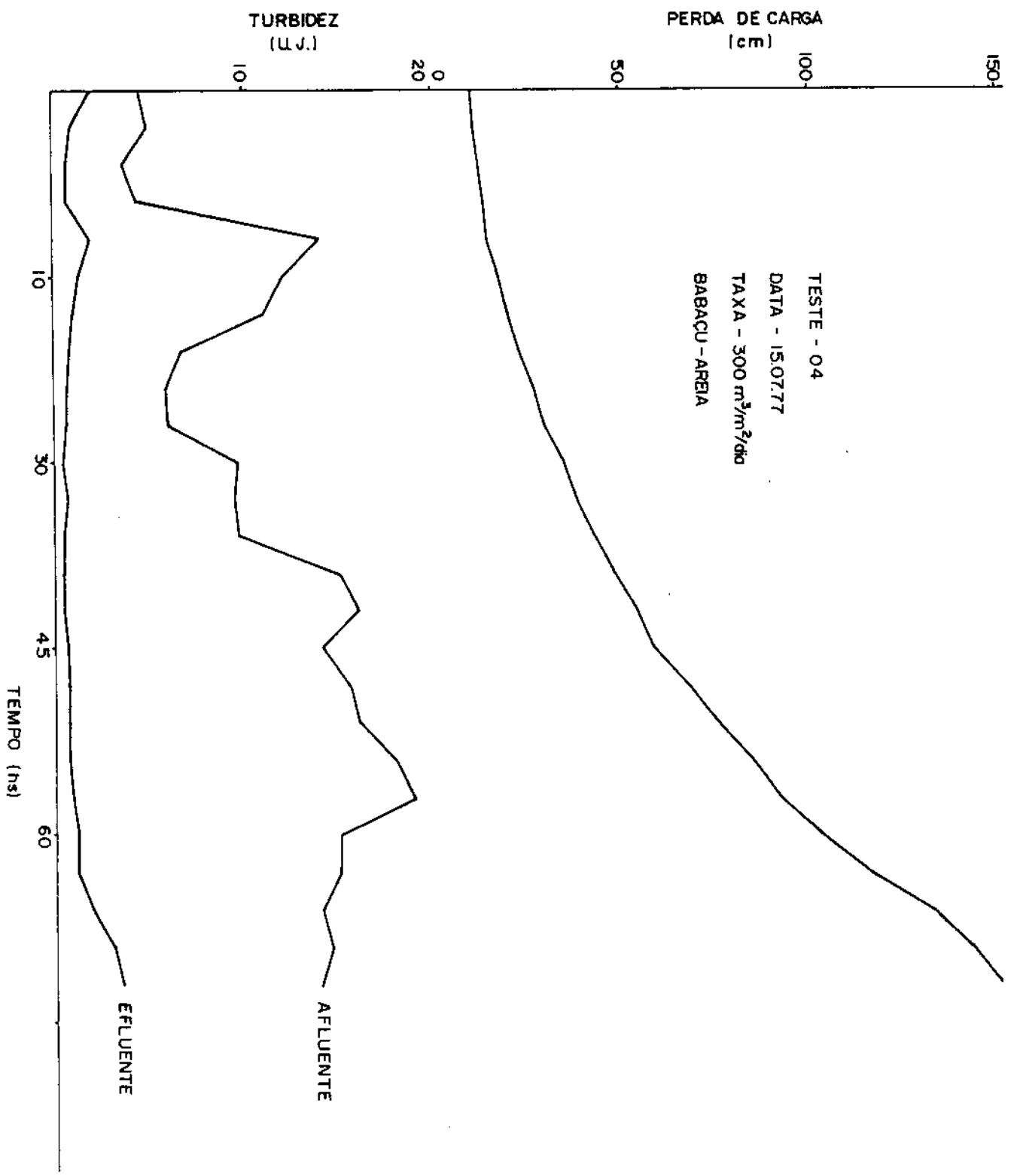


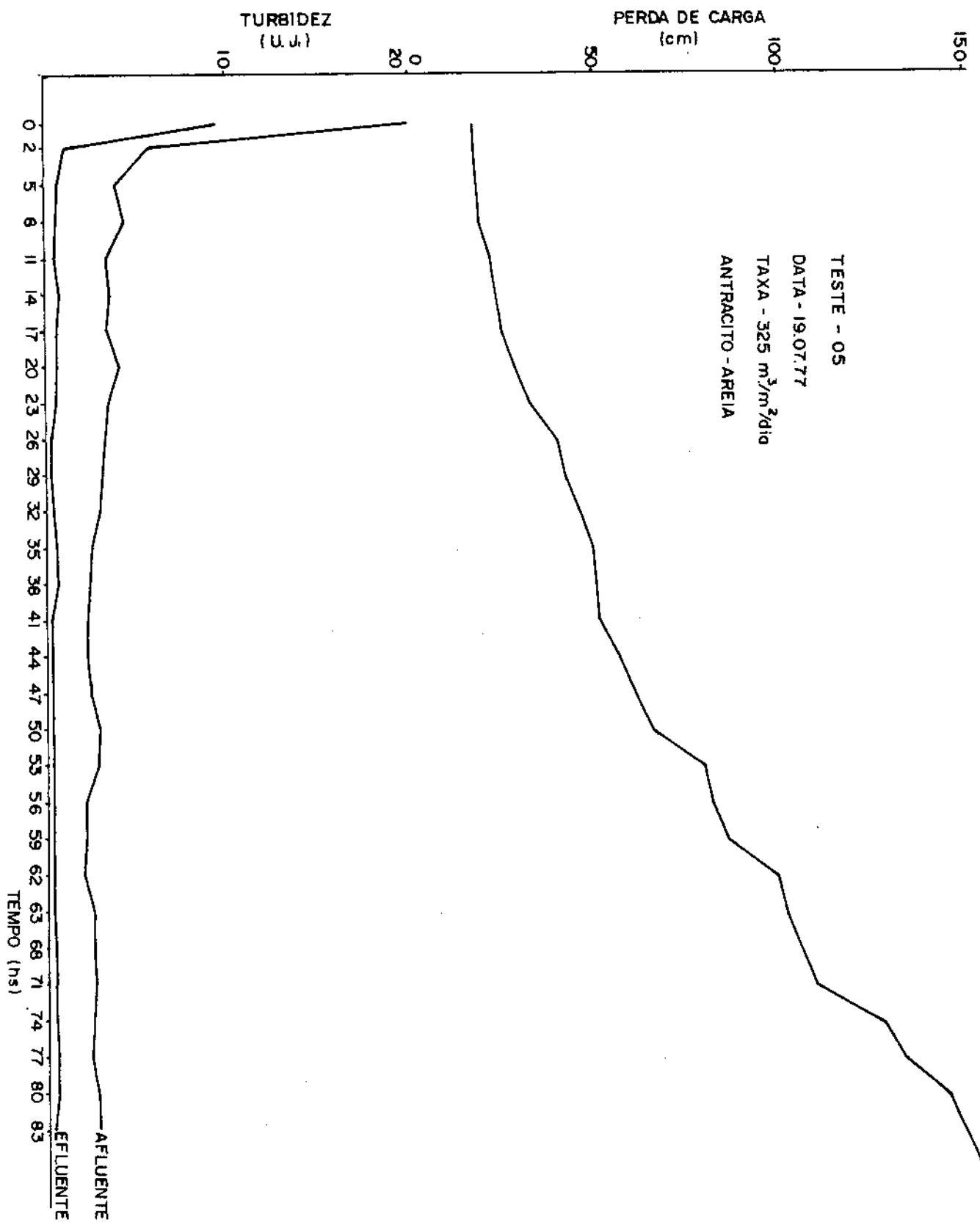


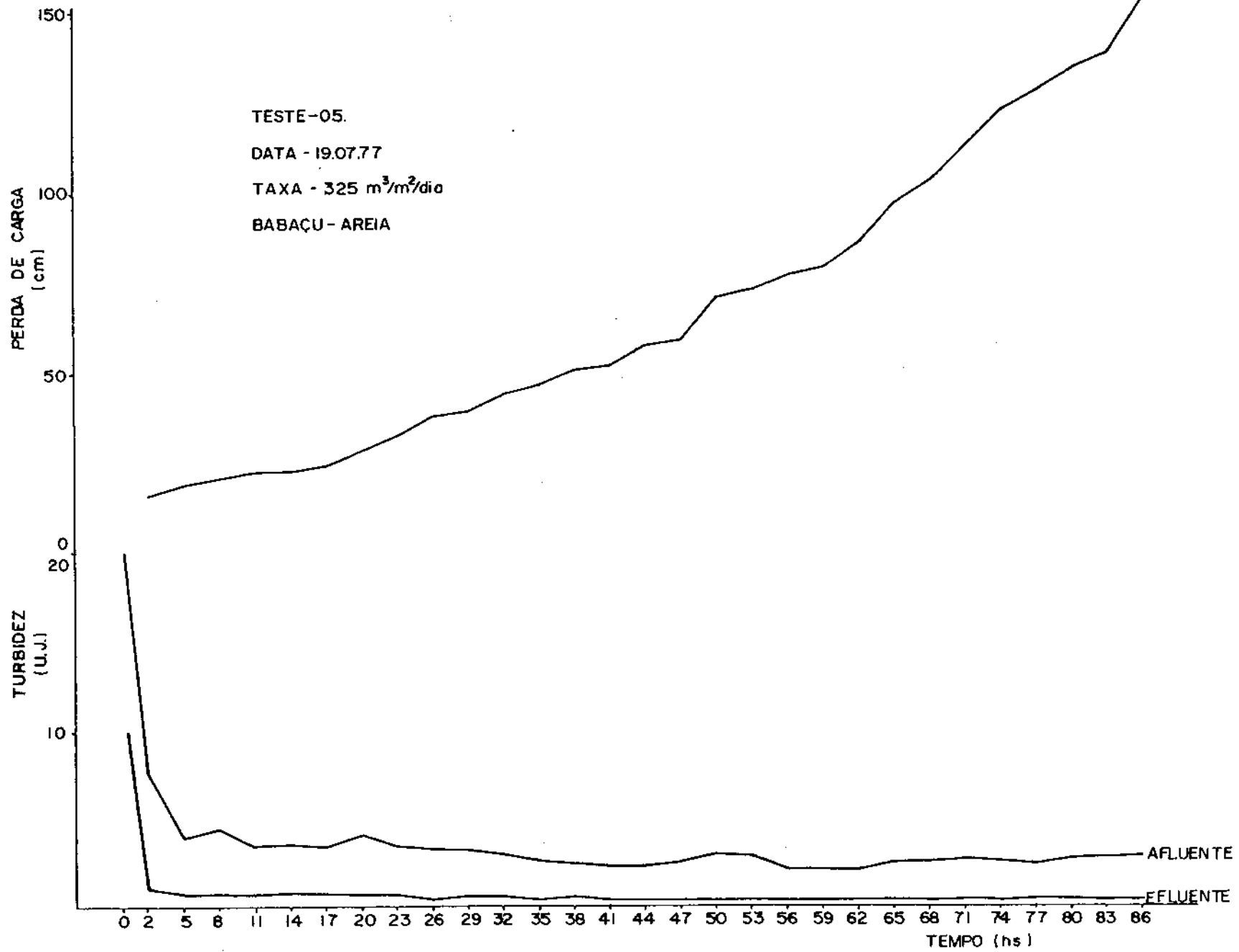


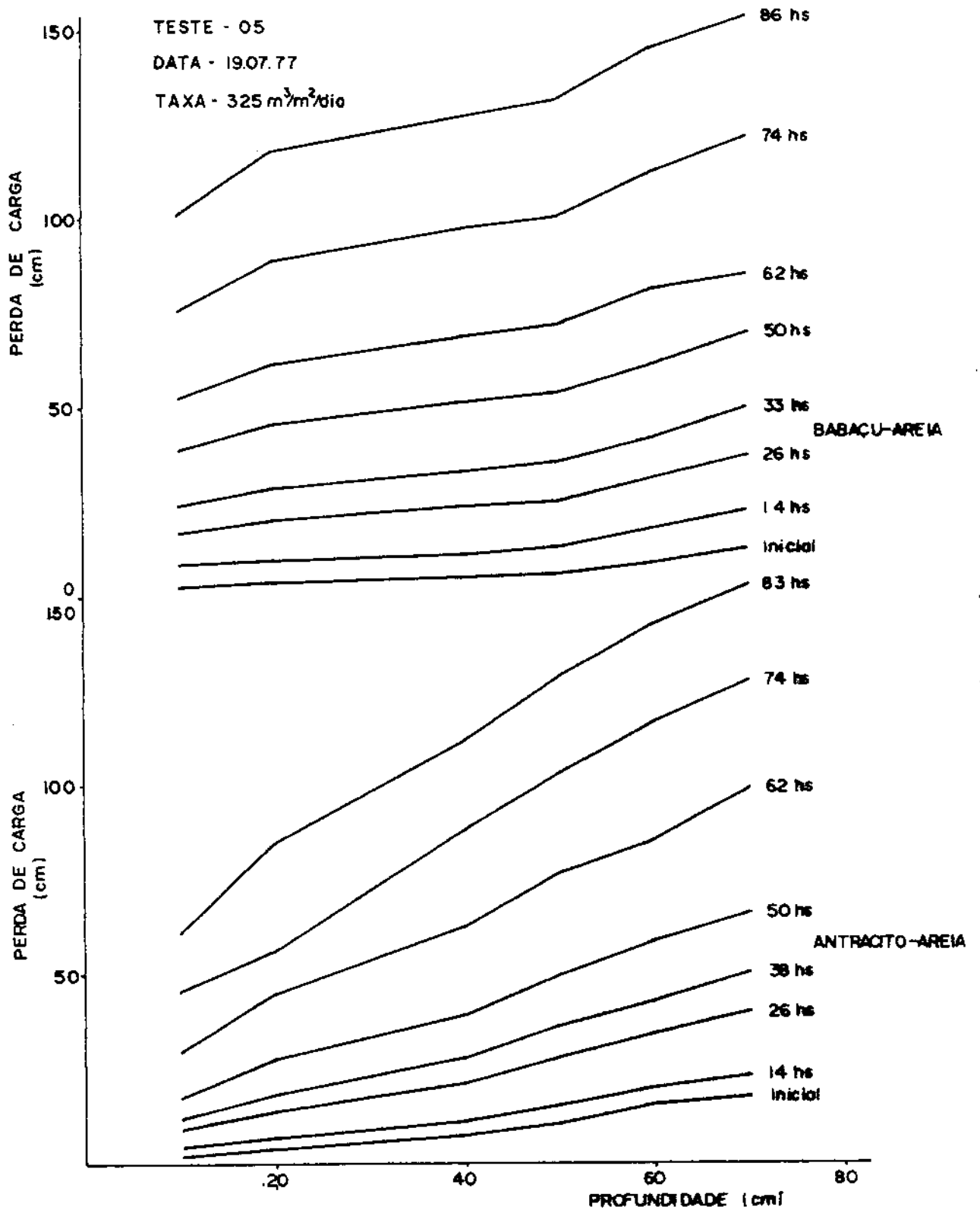


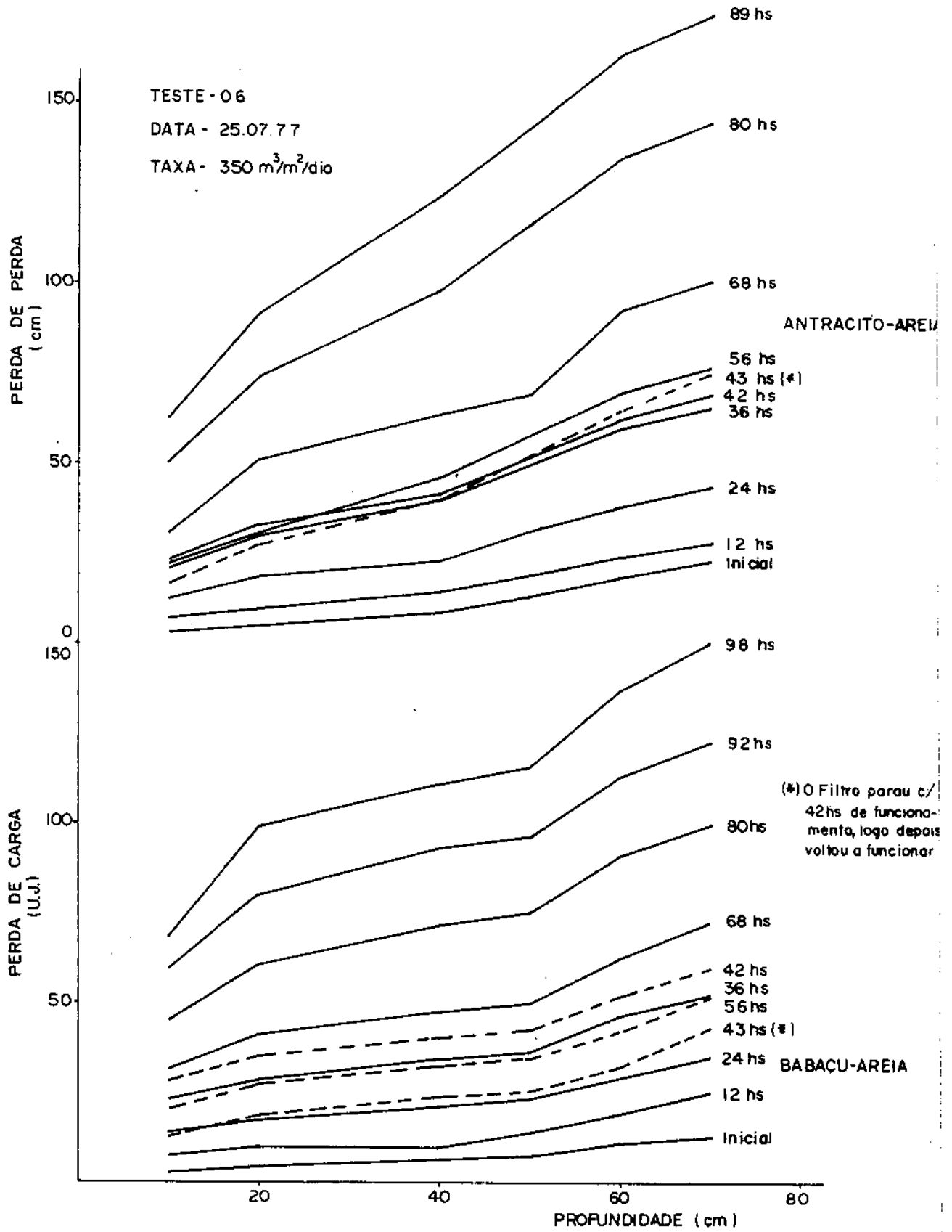


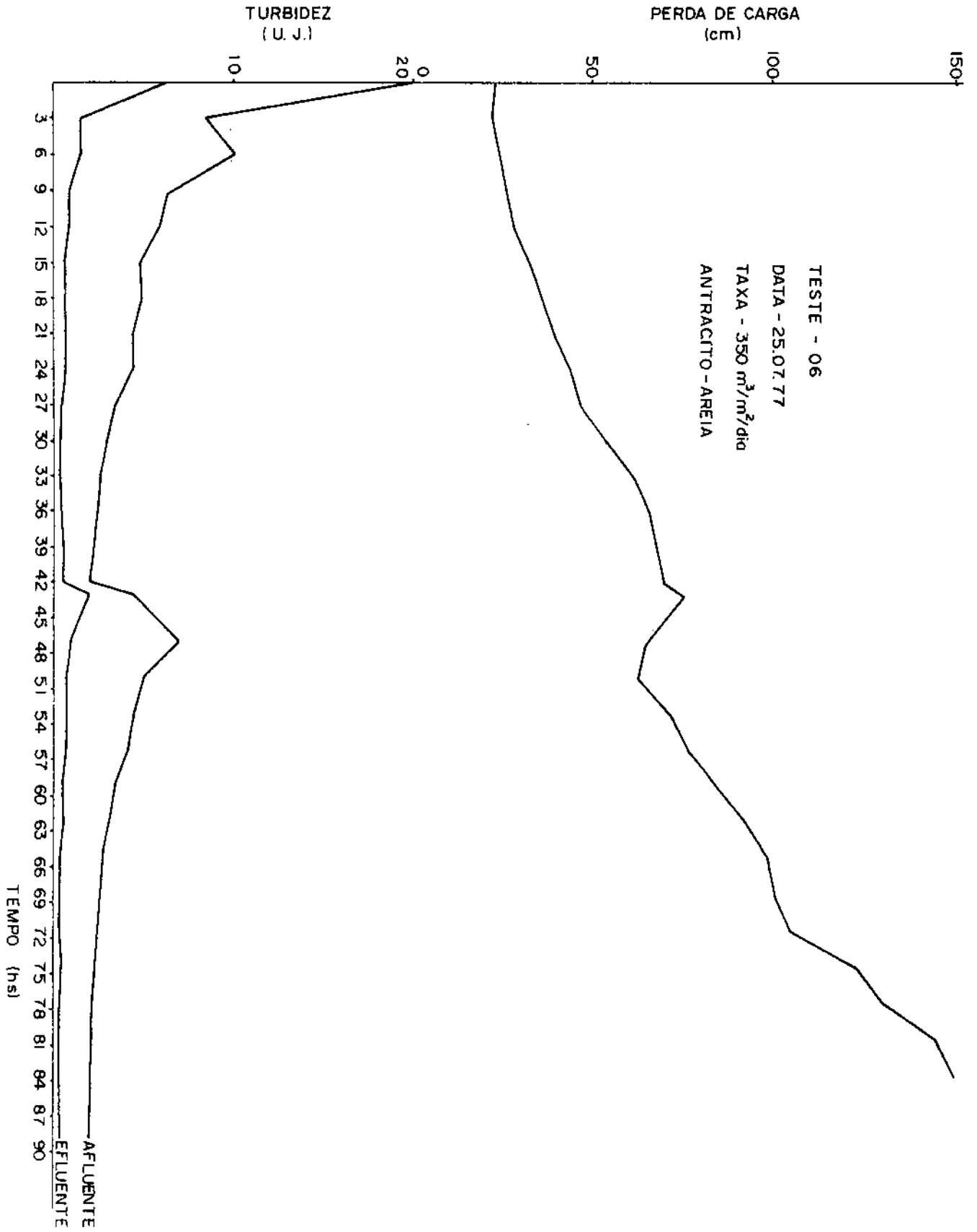


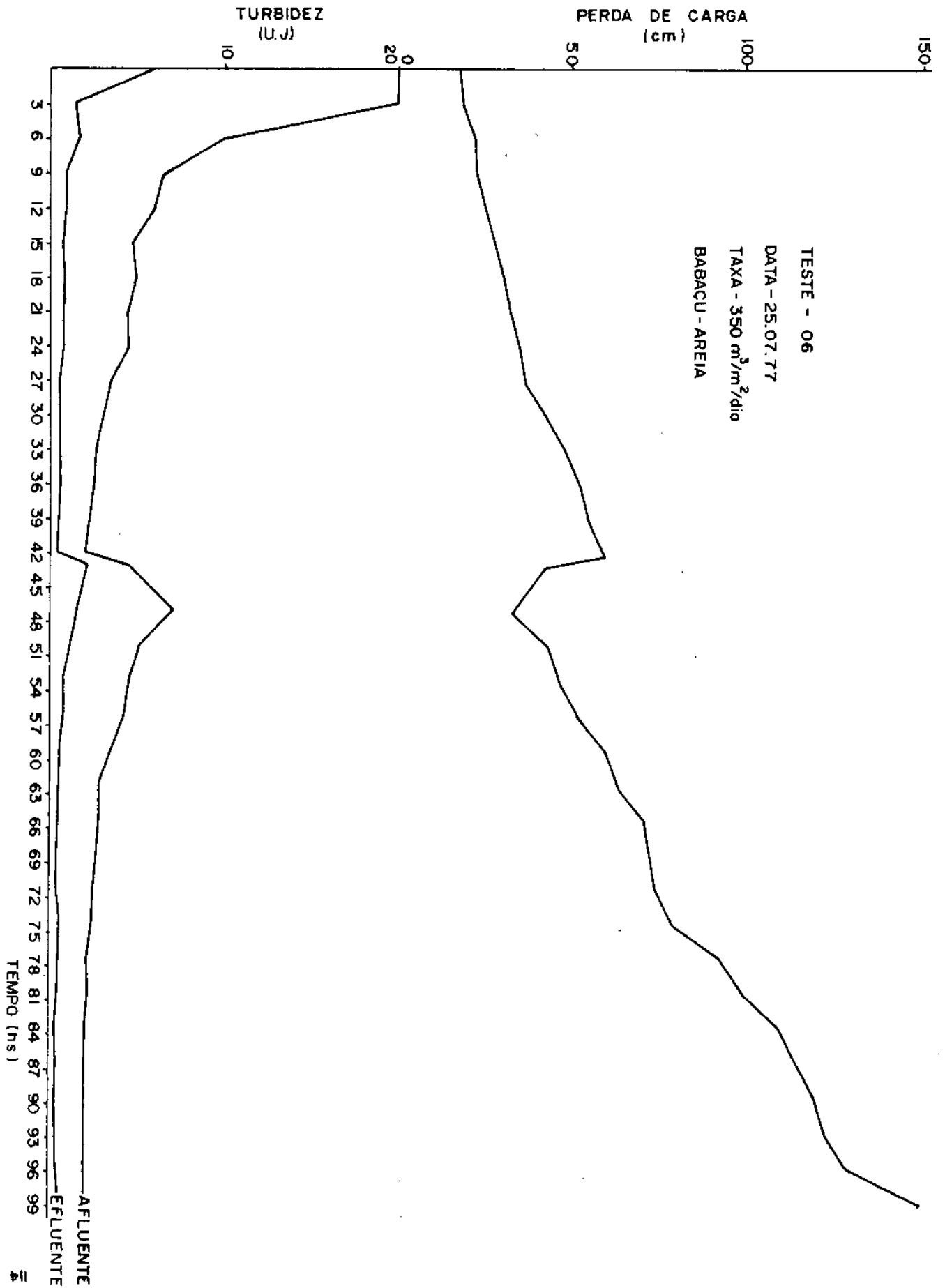


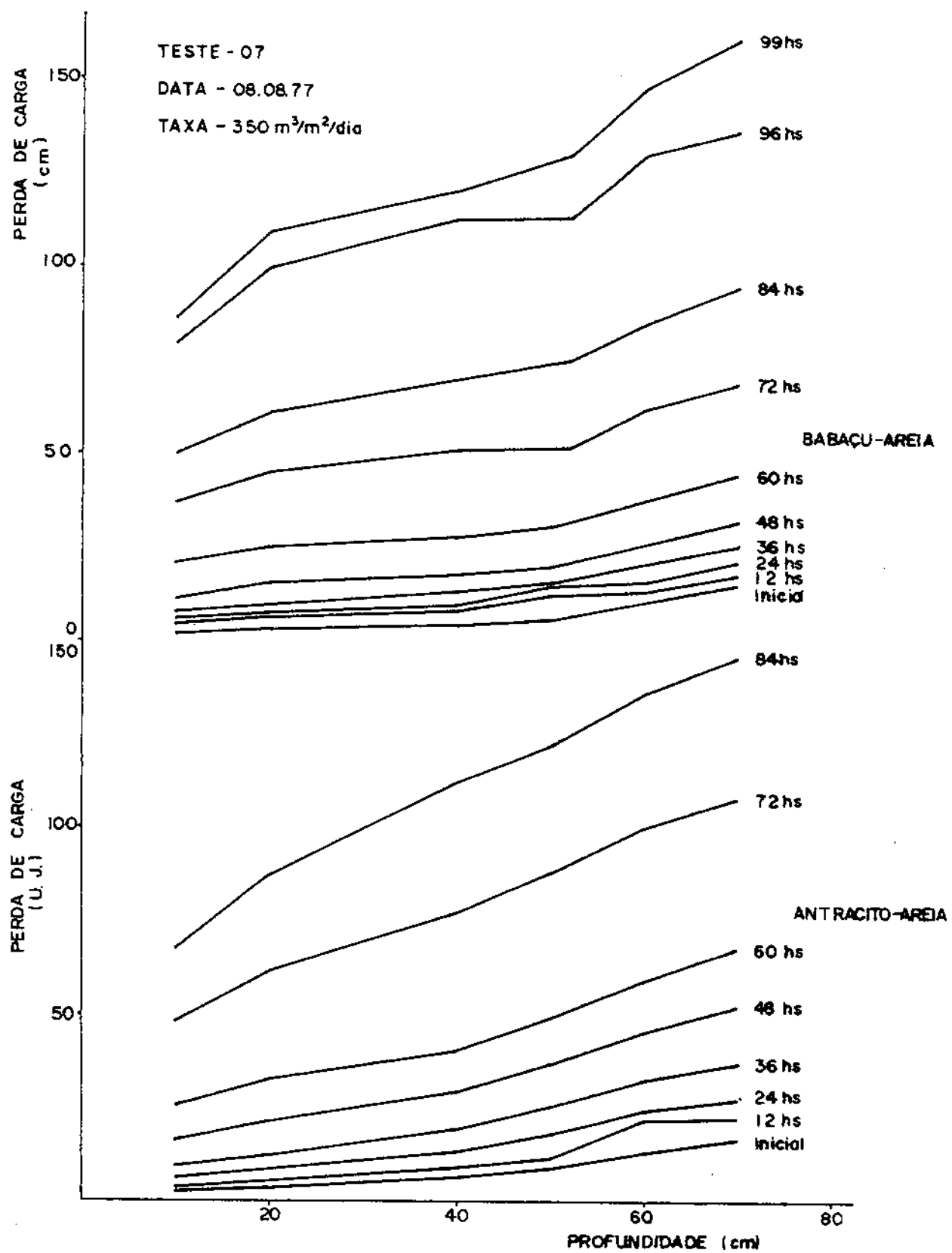


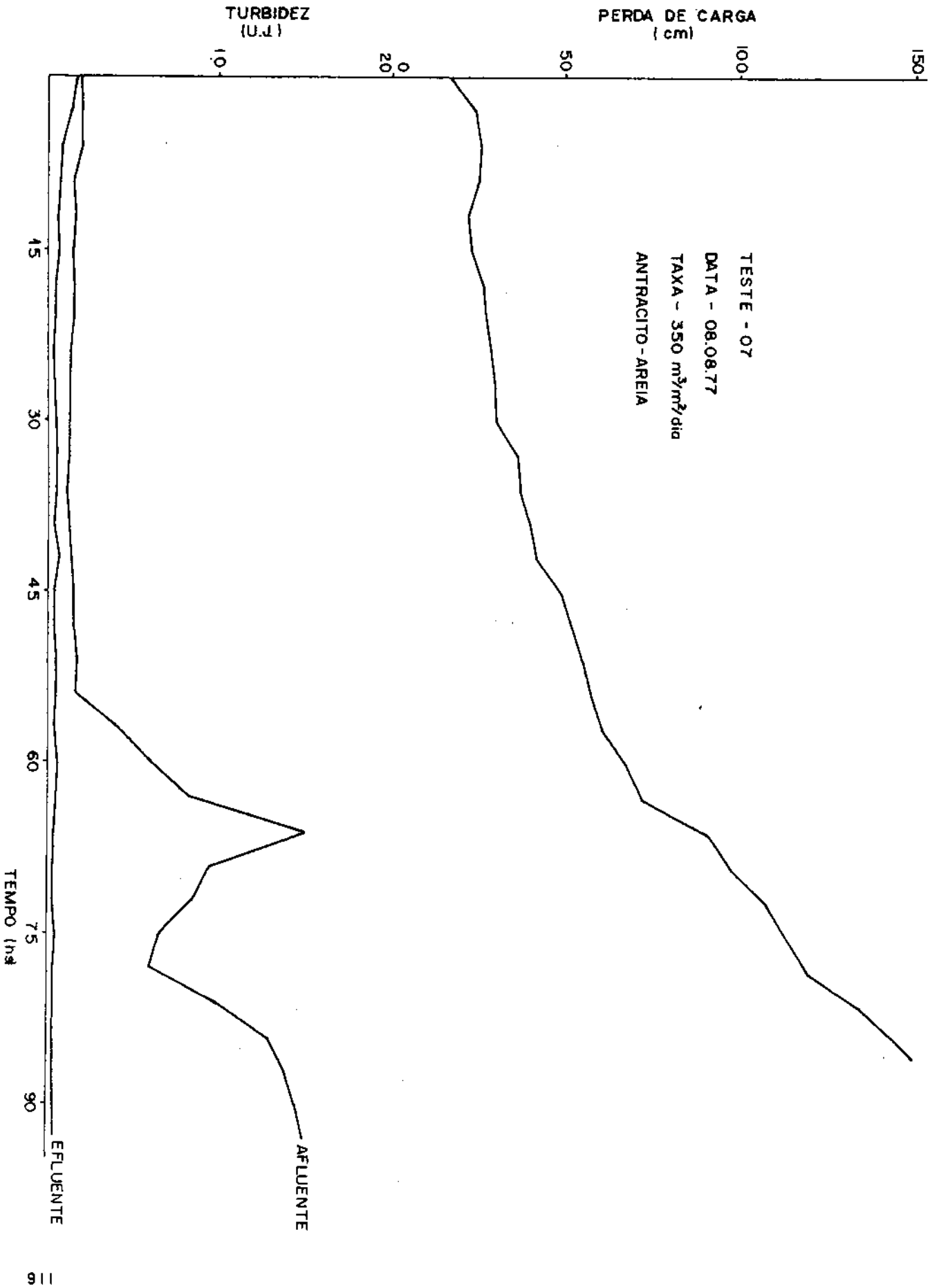


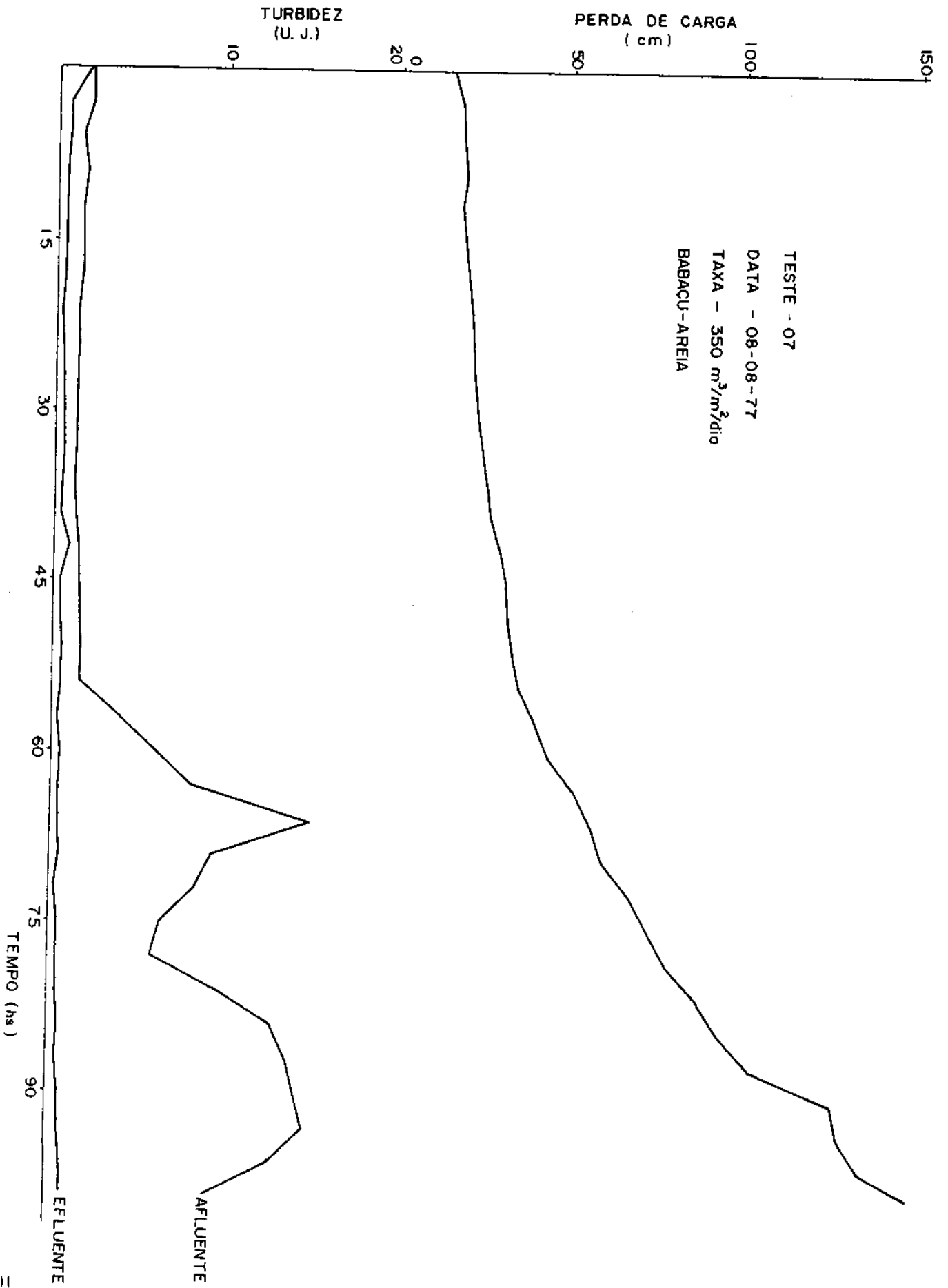


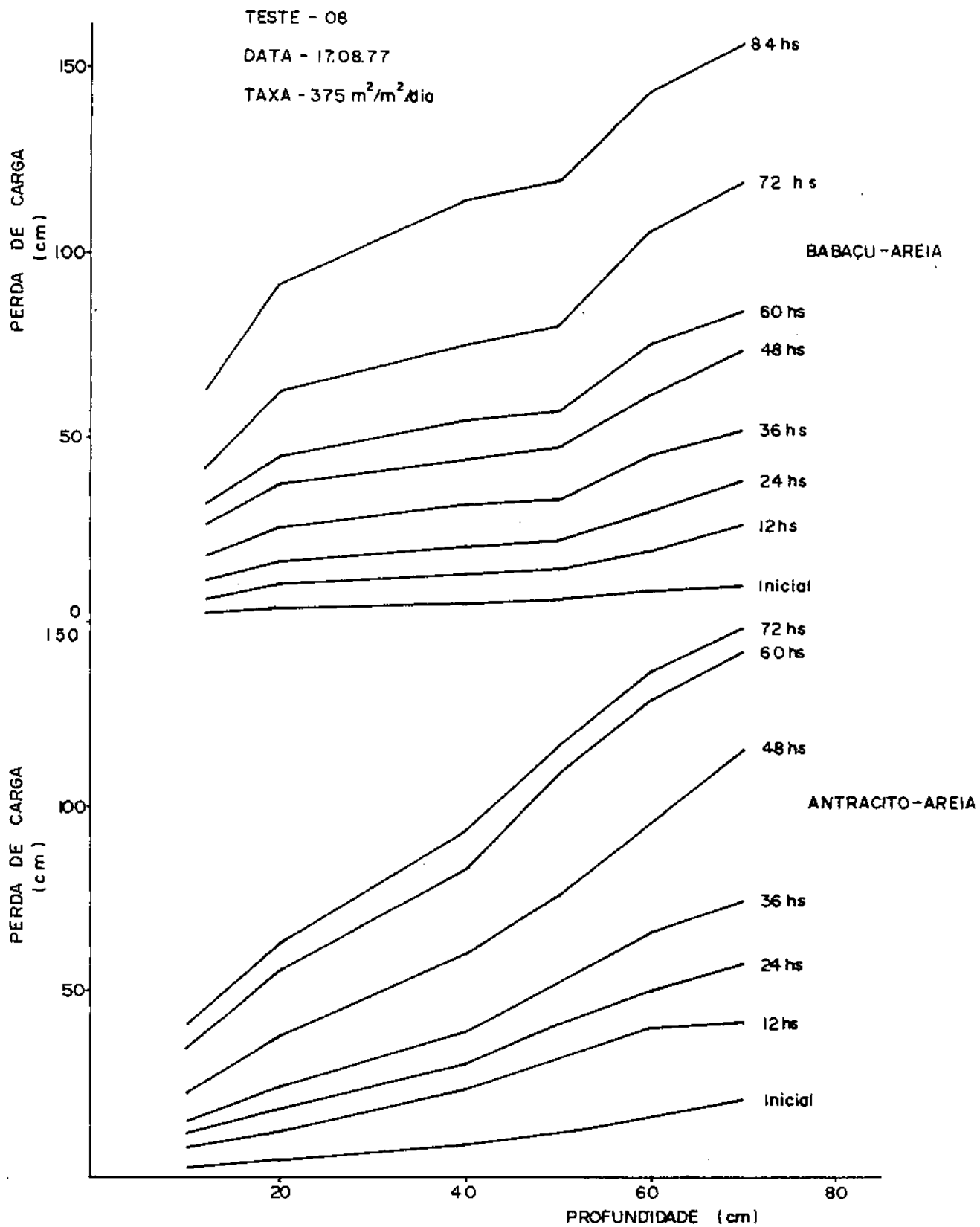


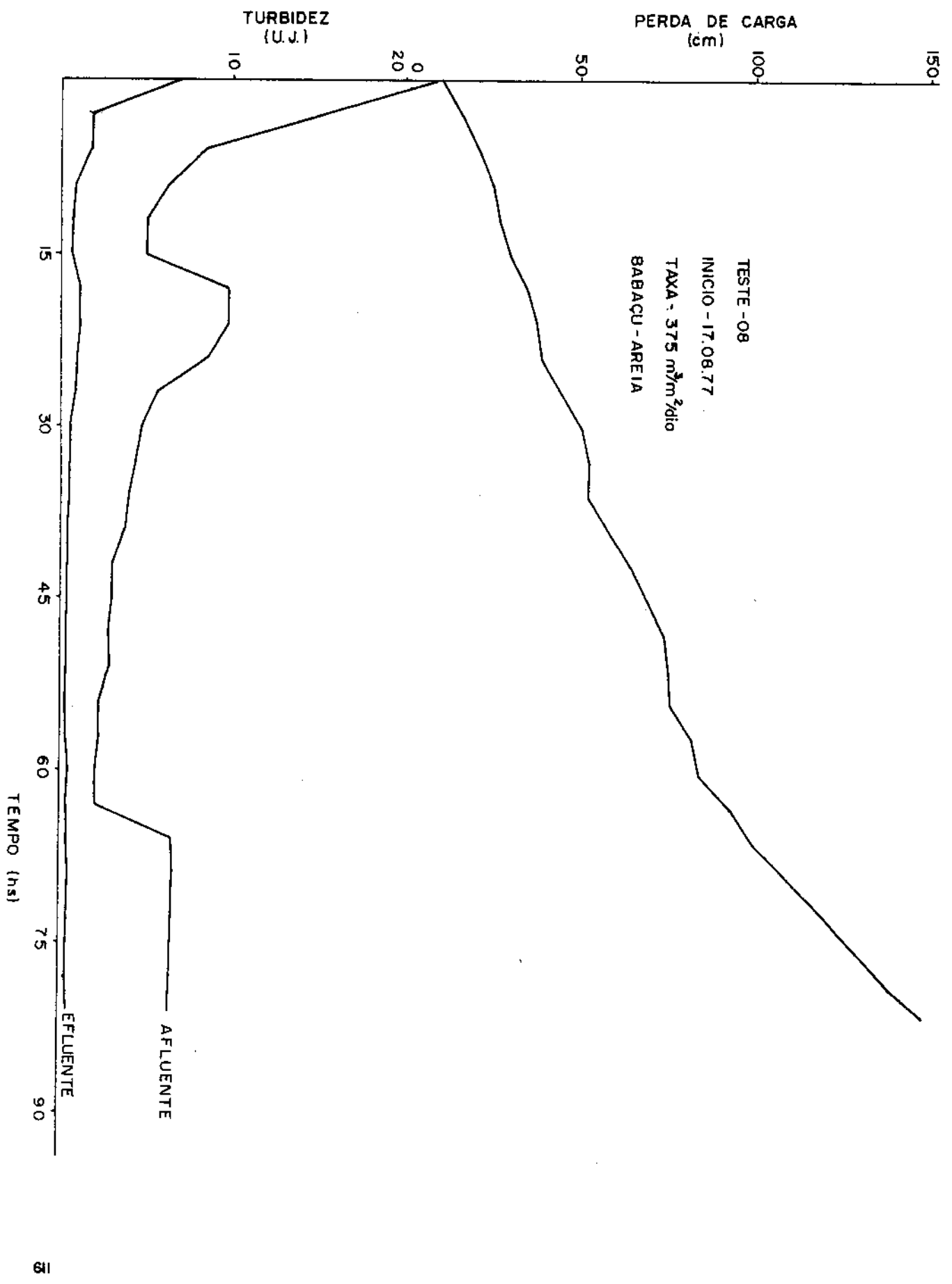


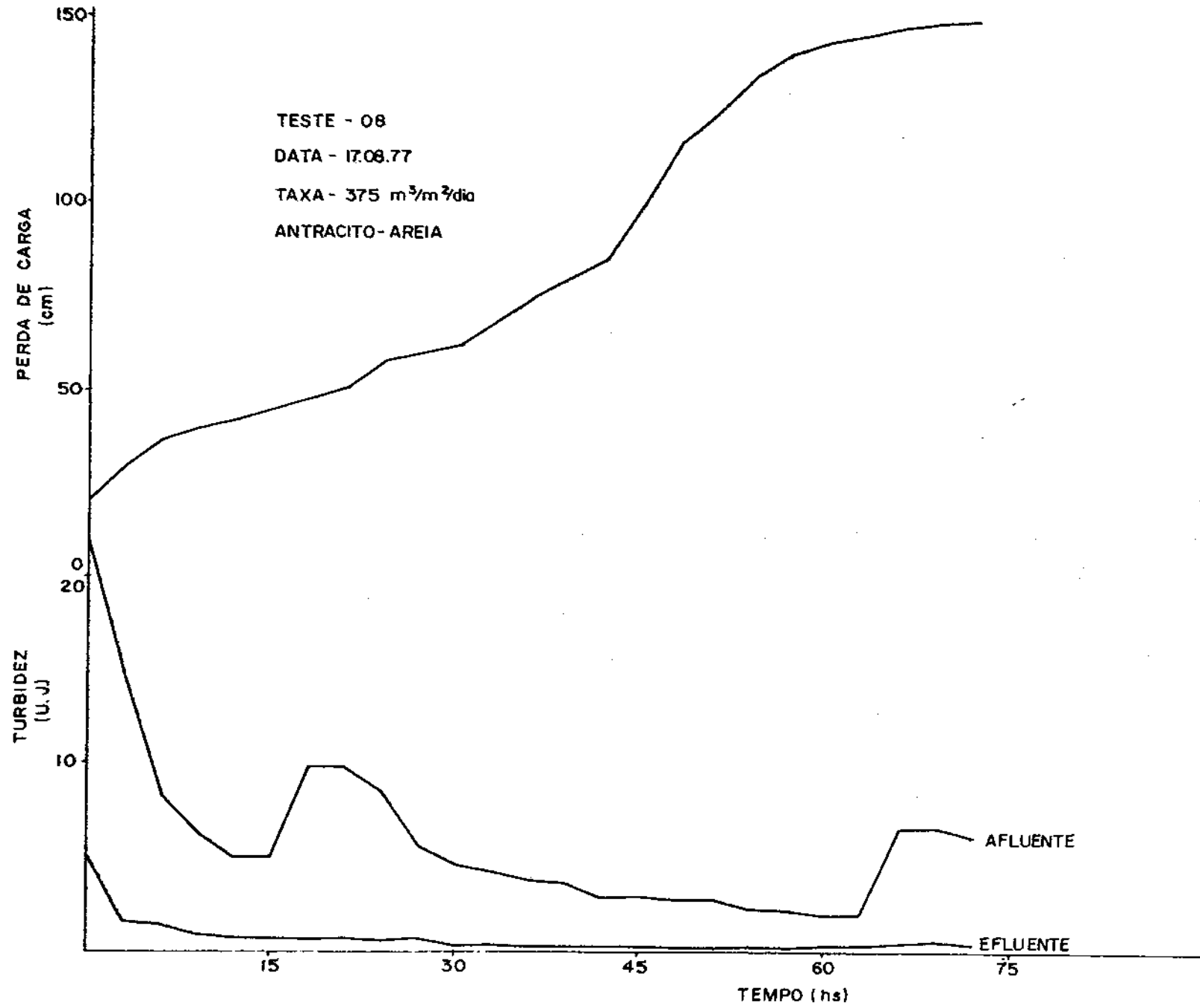


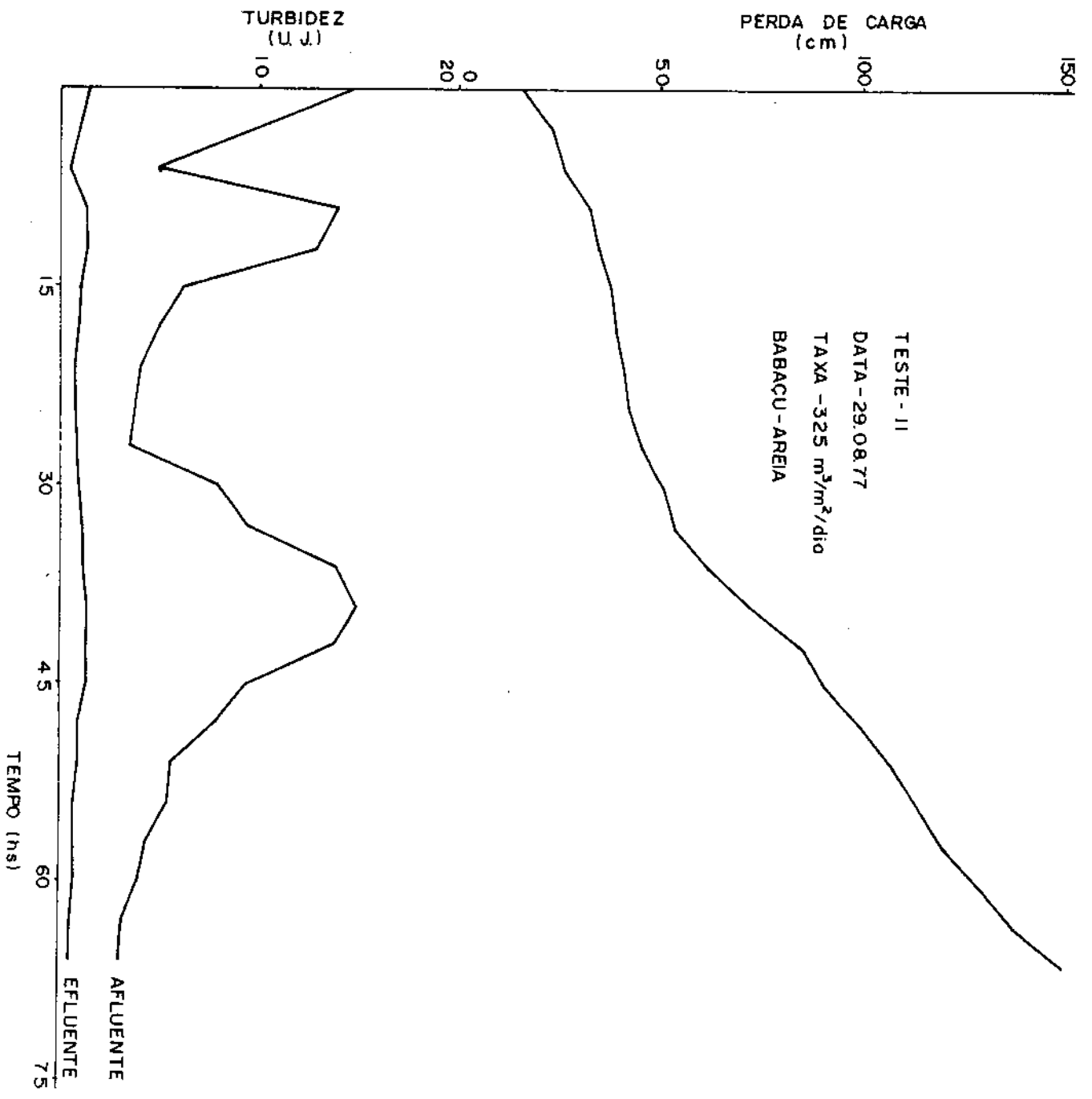












PERDA DE CARGA (cm)

TURBIDEZ (U.J.)

TESTE - II

DATA - 29.08.77

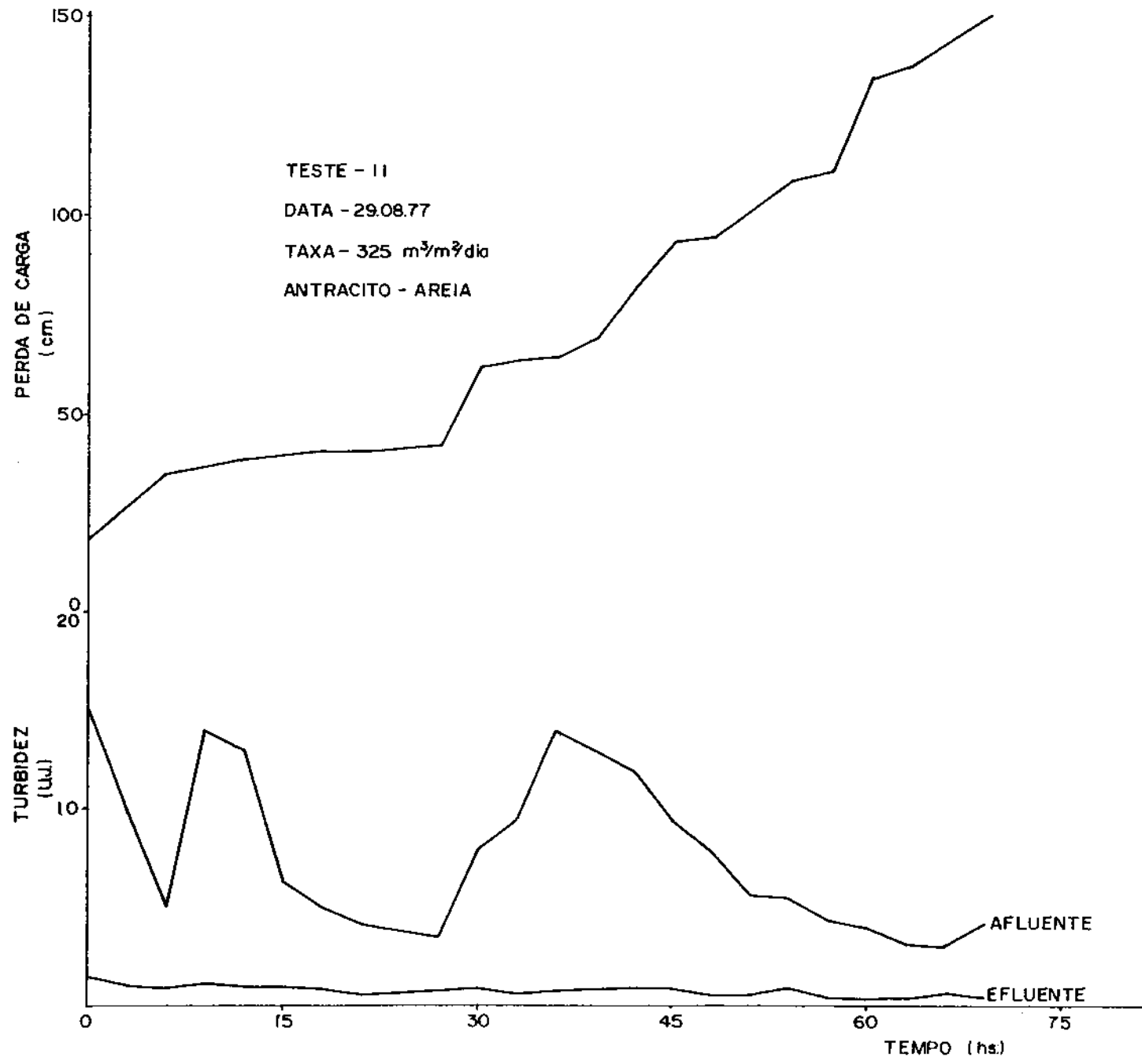
TAXA - 325 m³/m²/dia

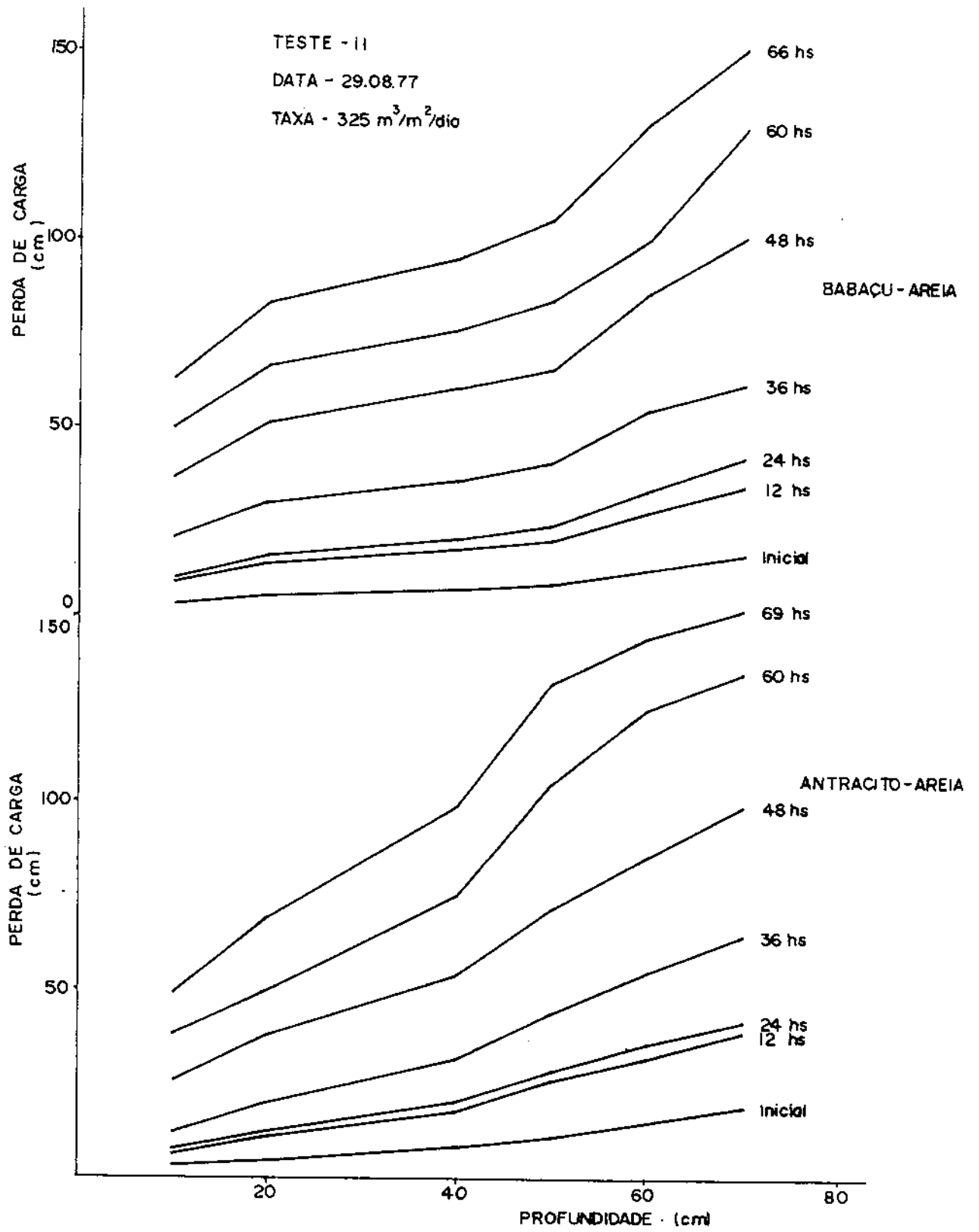
BABAÇU - AREIA

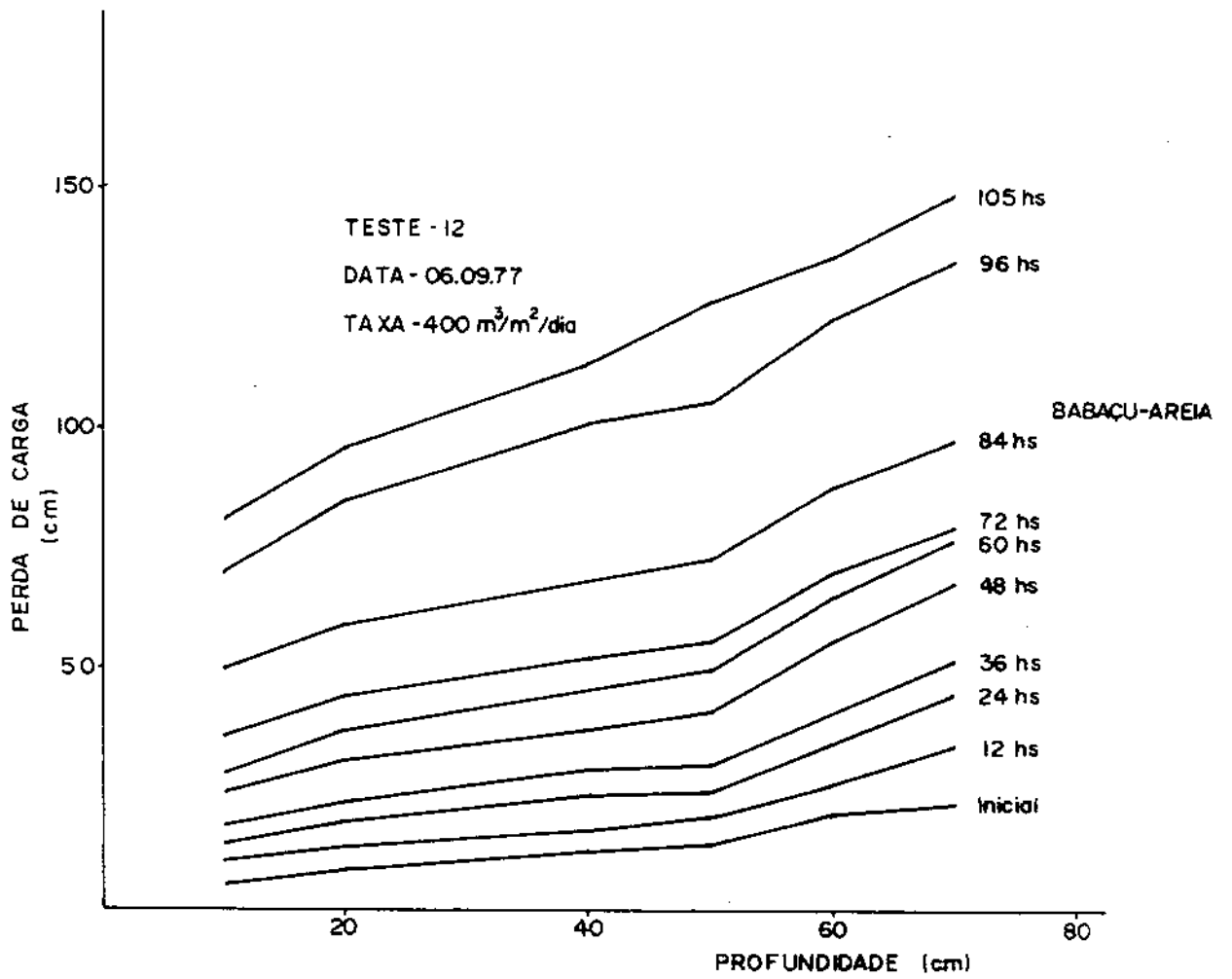
AFLUENTE

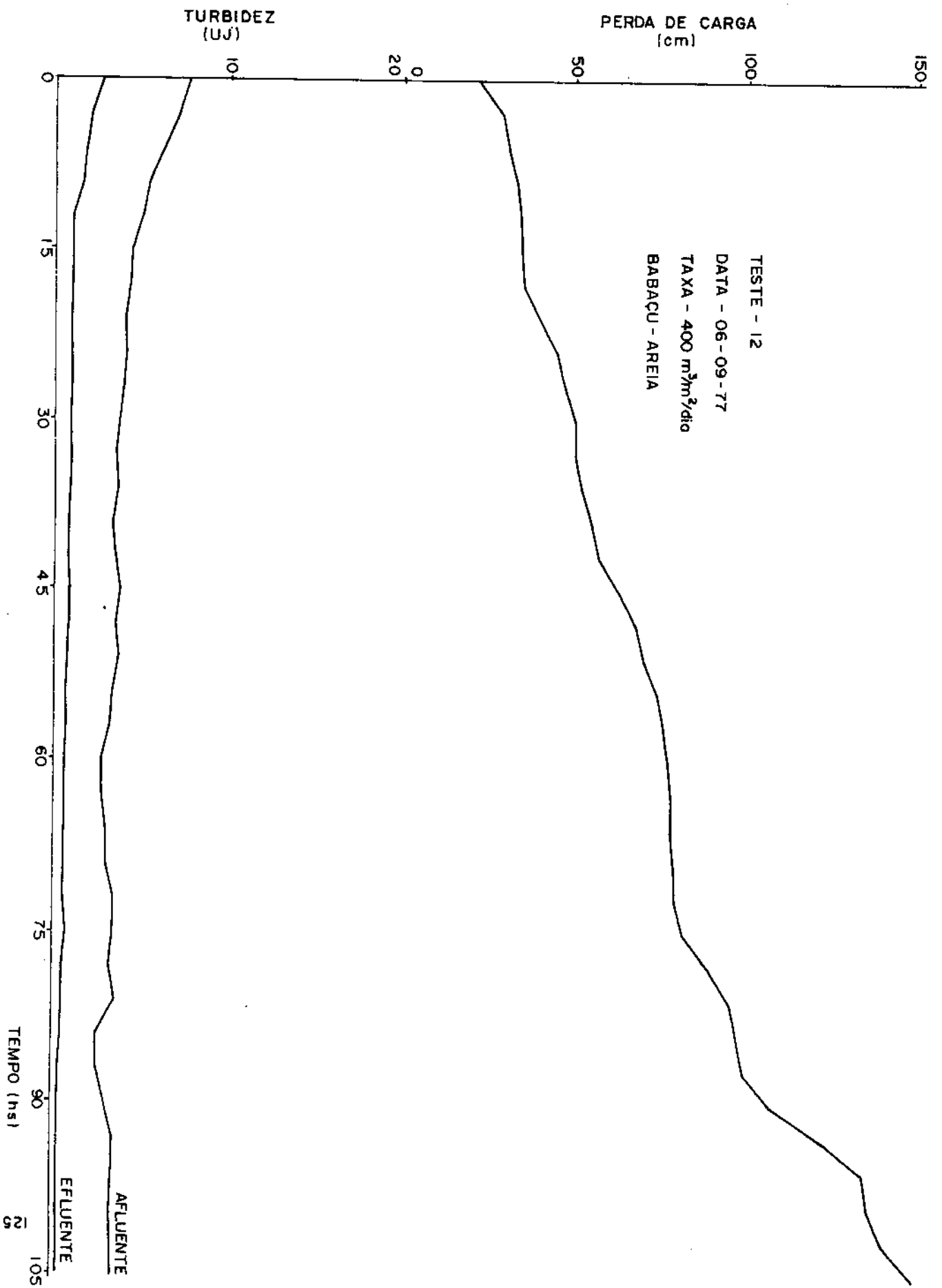
EFFLUENTE

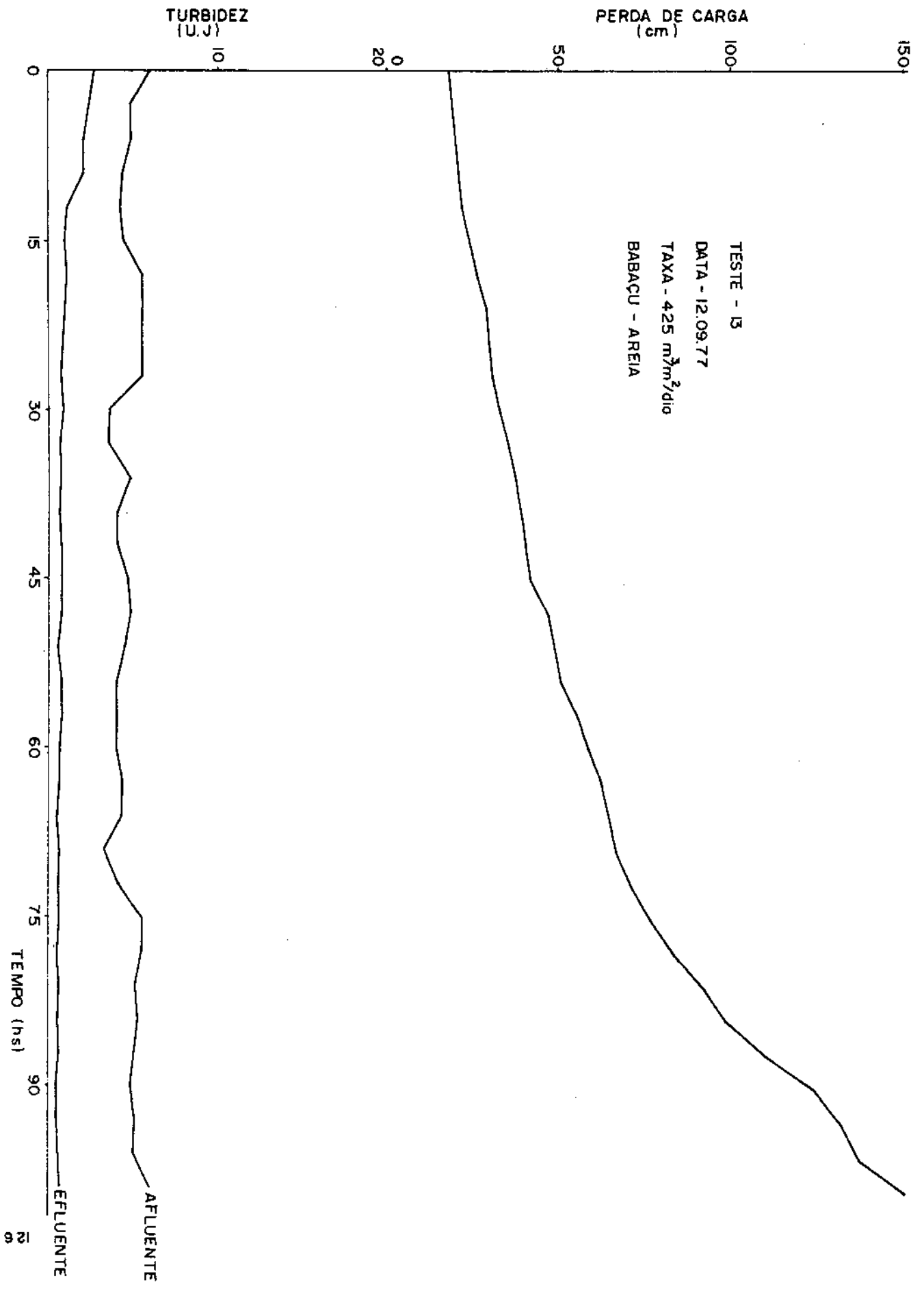
TEMPO (hrs)

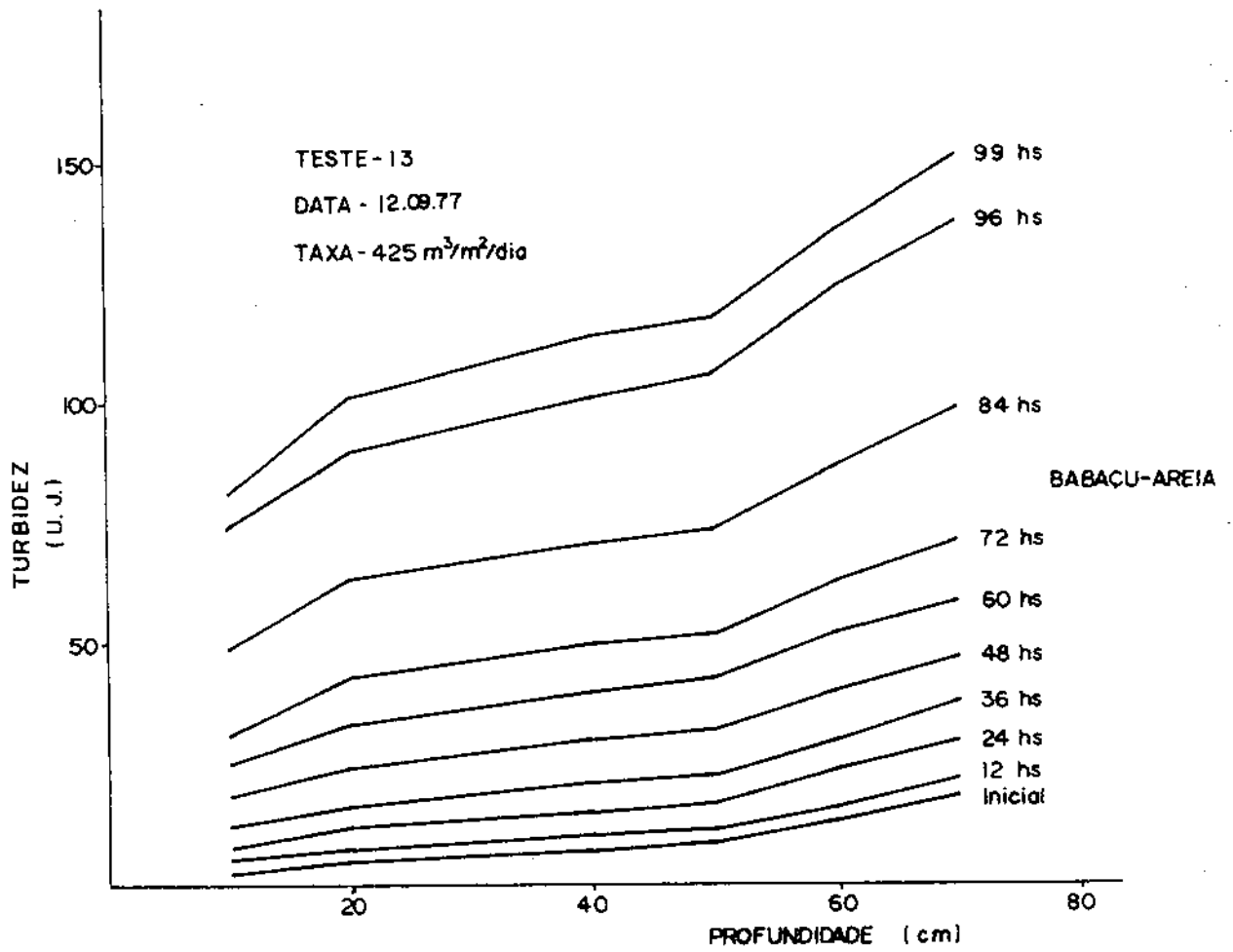


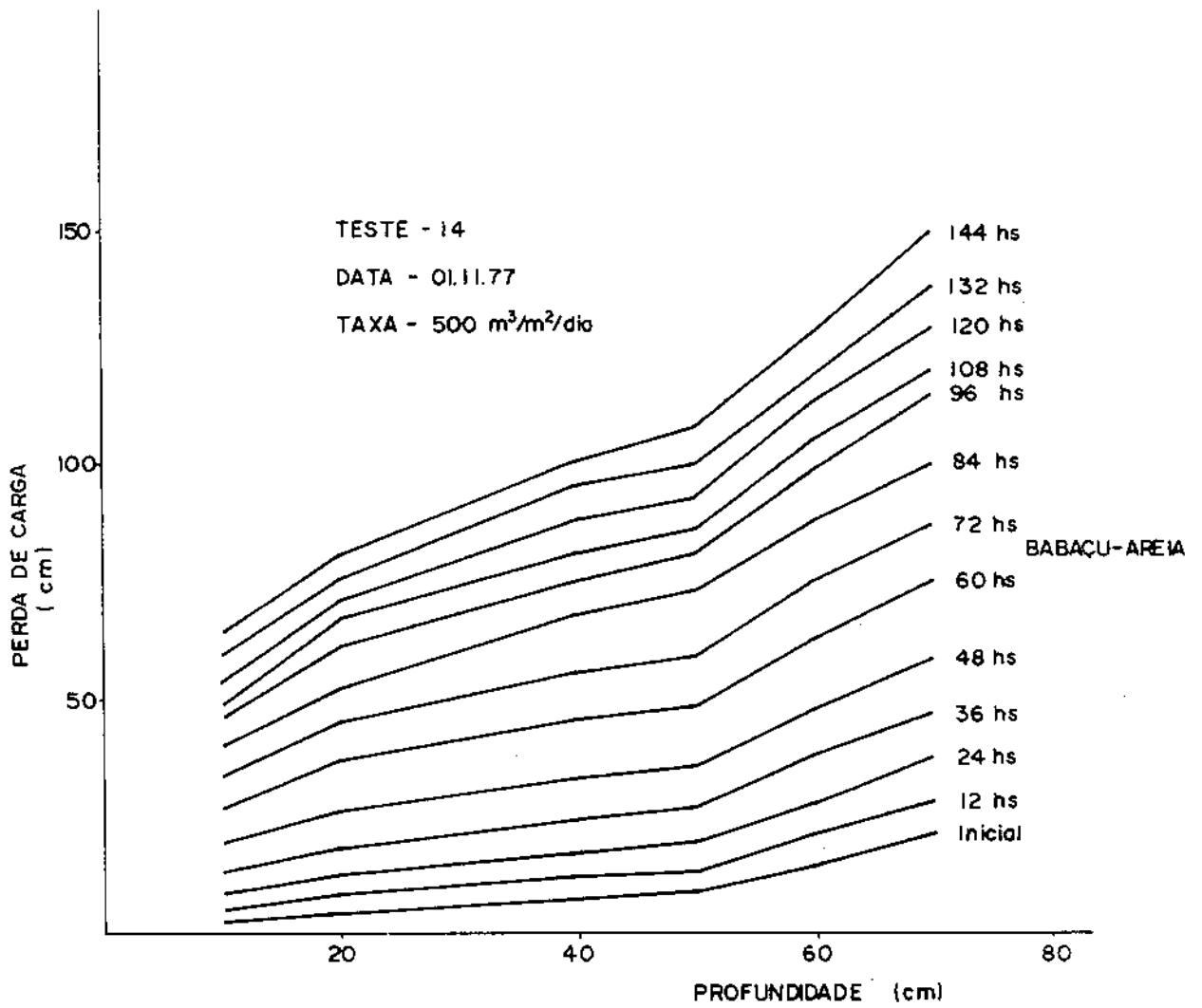












BIBLIOGRAFIA

1. Baylis, John R., "Experience with high-rate filtration" Jour. AWWA, 42:687. Jul. 1950.
2. Baylis, John R., "Experiences in filtration", Jour AWWA, 29:1010, Jul 1937.
3. Baylis, John R., "Seven Years of High-Rate Filtration" , Jour AWWA, 48:585, May 1956.
4. Brown Wade, C., "High-rate filtration experience at Durham", Jour AWWA, 47:243, Mar 1955.
5. Conley, W.R., "Experience with antracite-sand filters" , Jour AWWA, 53:1473. December 1961.
6. Centro Panamericano de Ingenieria Sanit aria e Ciencias del Ambiente - Teoria, Dise o y Control de los Processos de Clarificacion de  gua. Peru. 1973.
7. Physicochemical Process. (For Water Quality Control) Walter J. Weber, Jr. Texto: John L. Cleasby. Copyright 1972, by John Wiley & Sons, Inc. U.S.A.

8. O'Melia, C.R. & Stumm, W., "Theory of water filtration", Jour AWWA, 59:1393, Novemb. 1967.
9. Iwasaki, T., "Some Notes on Sand Filtration". Jour AWWA, 29:1591 oct. 1937.
10. Ives, K.J., "Progress in Filtration". Jour AWWA, 56:1225, Sep. 1964.
11. Eliassen, R., "An Experimental and Theoretical Investigation of the clogging of Rapid Sand Filter. Sc. D. Thesis Mass. Inst. of Technology. 1935.
12. Eliassen, R., "Clogging of Rapid Sand Filters." Jour AWWA, 33:926, May 1941.
13. YVES, K.J., "Rational Design of Filters", Proc. Inst. Civil Eng., 16:189. London, 1960.
14. Mints, D.M., "Kinetics of the Filtration of suspensions of Low Concentration". Dokl. Acad. Nauk. SSSR, 78.315, Russia, 1951.
15. Segall, B.A., And Okum, D.A., "Effect of filtration Rate on Filtrate quality", Jour AWWA, 58:368., Mar. 1966.
16. John L. Cleasby, Marvin M. Williamson, and E. Robert Baumann. "Effect of filtration Rate changes on quality". Jour AWWA, Jul. 1963.

17. Robeck, Gordon. G., "Conceptos Modernos em Filtration del Agua.", Simposio sobre Nuevos Metodos de Tratamiento de Agua"., Assuncion, Agosto 1972.
18. Baylis, John. R., "Chicago South District Filtration plant" Jour AWWA, 41:599, Jul 1949.
19. T.F. Craft, "Comparison of sand and antracite for rapid filtration". Jour AWWA, Nov. 1977.
20. Ives, K.J., "The use of Models in filter Design" - Part I and Conclusion"., Effluent and Water Treatment., Jour AWWA 11:552 & 11:591, Dez. 1966.
21. Secretaria de Industria e Comercio do Estado do Maranhão, Contribuição ao conhecimento da Atual Conjuntura Interna do Maranhão, São Luis - Maranhão, 1976.
22. Armando Vargas L., Hector Pulido P., "Experiencias en America Latina com filtros de médio mezclados en la Plan ta de Tibido de Bogotã, Colombia., "Simposio sobre Nuevos Metodos de Tratamiento de agua." Assuncion, Agosto 1972.
23. Companhia Carbonífera de Urussunga. Carvão. Criciúma, s.d.