

DESAGUAMENTO DE LODOS EM FILTRO VISANDO APROVEITAMENTO COMO CONBUSTIVEL



Autores: Luís Gustavo Paschoalim
PISA - Papel Imprensa S.A.

José Mangolini Neves
IPT/DPFTC-ACP e EPUSP/Depto. Eng. Química.

Resumo:

São discutidos métodos modernos de desaguamento de lodo e alternativas para disposição das tortas obtidas. Dentre as alternativas detém-se no estudo de variáveis e caracterização do comportamento de desaguamento de lodos provenientes de fábrica de papel imprensa em filtro prensa. São apresentados dados de engenharia sobre esse processo obtidos em escalas de laboratório, bancada e em planta piloto.

1. INTRODUÇÃO

A área de celulose e papel caracteriza-se por ser de capital intensivo, onde os investimentos são geralmente de ordem expressiva, além de, pelo porte, trazerem impactos socio-econômicos e ambientais muito significativos.

Dentre os fatores que trazem impacto ambiental, mas que despertam menor atenção são aqueles cuja agressão não é tão direta, como é o caso da disposição dos resíduos sólidos gerados. Neste caso, de um modo geral, as práticas existentes para o controle do problema ambiental, restringem-se quase que somente ao uso de aterros sanitários, que de um modo geral são considerados eficientes para a resolução desta questão.

Entretanto, estes procedimentos, muitas vezes perpetuados ao longo do tempo, só atuam como paliativos momentâneos e circunstanciais, sendo questionáveis a longo prazo (STEINER *et alii*, 1989).

As fábricas de papel imprensa, ao final de seu tratamento de efluentes, geram um resíduo sólido formado por fibras, material orgânico, etc. Este resíduo, atualmente, é removido do efluente e sai na forma de um longo desaguado, que é disposto em aterro sanitário.

#

Trabalho apresentado no 25^o Congresso Anual de Celulose e Papel, ABTCP, São Paulo, 1992.

A operação de desaguamento deste lodo é, geralmente, feita em equipamentos que operam continuamente, porém, de uma forma não muito eficaz. Entretanto, o processo de desaguamento desse lodo pode ser melhorado, dando oportunidade para surgirem outras alternativas para o destino final da torta sólida resultante.

O advento de novos equipamentos mecânicos para desaguamento de lodo provê a indústria de papel e celulose com uma nova forma de encarar o desaguamento de lodos. Representa uma solução prática, viável e lucrativa para o problema, além de contribuir favoravelmente para a resolução pelo menos parcial de um dos maiores desafios encontrados atualmente pela indústria no que diz respeito à preservação do meio ambiente, ou seja, o **gerenciamento dos resíduos sólidos**.

A incineração da torta tem se mostrado o passo lógico quando aplicado logo após a etapa de desaguamento, entretanto é necessário melhorar e otimizar esta etapa (JAMES & KANE, 1991).

Assim, o trabalho que aqui se apresenta teve por objetivo contribuir para melhoras a compreensão do processo de desaguamento de lodos ricos em fibras celulósicas, além de efetuar um levantamento sobre os fundamentos, processos e equipamentos usados no desaguamento destes tipos de lodos com fibras, incluindo os principais modos de disposição final das tortas resultantes. Depois, restringir o estudo aos lodos ricos em fibras, gerados em fábricas de papel imprensa, procurando verificar as características de engenharia tanto do lodo, como da torta gerada, restringir o estudo à tratabilidade do lodo citado em um processo descontínuo de filtração sob pressão, ou seja, estudar a adequação do uso de filtro-prensa de placas, operando em bateladas, e com altas pressões, visando obter tortas com altos teores de sólidos. E por fim, dar indicações que permitam o projeto para a disposição ou aproveitamento dos lodos desaguados, principalmente deter-se mais na análise o aproveitamento da torta para queima e/ou incineração.

Cabe salientar que com este trabalho é um sumário dos dados obtidos e discutidos na Dissertação de Mestrado de um dos apresentadores (PASCHOALIM, L. G., 1992) não se esgotando o assunto, sendo sua continuação natural o estudo ou sobre outros tipos de desaguadores ou sobre o uso de incineradores, principalmente quanto à sua adequação técnico-econômica.

2. UMA FÁBRICA DE PAPEL IMPRENSA

Na Figura 1 apresenta-se o diagrama de blocos de uma fábrica nacional de papel imprensa, a PISA - Papel Imprensa S.A., localizada no município de Jaguariaíva (PR), mostrando inclusive os pontos de geração de efluentes líquidos (PISA, 1989).

Esta firma produz 150 mil ton/ano (410 ton/dia) de papel imprensa (jornal, listas telefônicas, etc.) com gramatura de 48,8 g/m². A receita é composta de: 15% de celulose kraft, de fibra longa; 43% de pasta termomecânica (TMP) e 42% de pasta mecânica (SGWP).

Pode ser visto nesta Figura que nesta fábrica procura-se recircular e reutilizar ao máximo a água, existindo uma estação de tratamento de efluentes (E.T.E.) para onde são enviados os efluentes já necessitando de tratamento.

Apresenta-se na Figura 2 o fluxograma simplificado da E.T.E. da fábrica de papel imprensa PISA (1989-1990). O sistema todo é composto basicamente pelos seguintes sub-sistemas (LEGAT, 1988):

- a. Remoção de sólidos maiores;
- b. Remoção de areia;
- c. Remoção de sólidos sedimentares;
- d. Sistema biológico para remoção de carga orgânica;
- e. Sistema de adensamento e prensagem do lodo;
- f. Lagoa de emergência (sistema emergencial)

3. ADESAGUAMENTO DO LODO

3.1 Formação do lodo

O principal objetivo do tratamento de efluentes é remover sólidos ou substâncias dissolvidas na água. As substâncias removidas serão coletadas como lodo, que normalmente consiste de 95% ou mais de água.

O principal objetivo do desaguamento do lodo é remover tanto quanto possível a água nele contida. O teor final de sólidos secos obtida depende do tipo de sólido existente no lodo e da distribuição de suas partículas.

A água presente, conforme sua localização no lodo, recebe diferentes designações são as seguintes: água de drenagem, água capilar, água adsorvida e água celular. Para melhor compreensão, na Figura 3 apresenta-se um desenho identificando estes tipos de água (UNEP, 1981).

As dificuldades e o grau de remoção para cada tipo de água vai depender do tipo de processo de desaguamento usado. Por exemplo, a água de drenagem pode ser removida por espessamento e a capilar, por desidratação mecânica. Outros tipos só podem ser removidos por métodos térmicos.

A eficiência de remoção de sólidos suspensos no desaguamento de lodo e do equipamento utilizado. Normalmente, uma remoção de sólidos acima de 90% é necessária para permitir, sem qualquer problema operacional, o envio da água extraída para a estação de tratamento de efluentes. Para melhorar a eficiência de remoção dos sólidos suspensos, frequentemente são usados polieletrólitos (UNEP, 1981).

3.2. Espessamento

O espessamento é um passo que antecede a separação de sólidos suspensos e o desaguamento mecânico do lodo. Este processo é importante no caso de lodos

com fibras, pois contribui para reduzir os custos envolvidos e principalmente porque o desaguamento mecânico depende da concentração da entrada.

No entanto, o espessamento de lodo contendo fibras, denominado lodo primário, não se tem mostrado com muito sucesso quando aplicado à indústria de celulose e papel. Na prática, quando se faz o espessamento de fibras, não é possível obter concentrações de sólidos mais altas que 2-4% (UNEP,1981). Por exemplo, a etapa de espessamento do lodo não faz parte do sistema de desaguamento deste que opera na fábrica da PISA.

3.3.Desaguamento mecânico e tipos de equipamentos

Para reduzir o volume, de modo a facilitar o transporte e disposição do lodo, principalmente o primário, têm-se usado vários tipos de equipamentos que efetuam seu desaguamento mecânico. Dentre estes, têm-se:

tipo de equipamento:

	<u>informações sobre:</u>
Filtro à vácuo	(UNEP,1981) (LIMA,1989)
Centrífuga	(UNEP,1981) (LIMA,1989)
Filtro-prensa de rosca cônica ("screw press filter")	(KLAUSEN & NORLI,1989) (FKC AMERICA)
Filtro-prensa de correia ("belt filter press")	(UNEP,1981), (PISA,1990) (LIMA,1989)
Filtro-prensa de placas	(discutido neste trabalho)

Em grandes instalações, filtros rotativos a vácuo foram, até pouco tempo atrás, largamente usados. Mas, atualmente, nas fábricas mais modernas, procura-se manter a maior parte das fibras dentro do sistema de produção de pasta ou de papel, utilizando para isto vários sistemas de recuperação de fibras. As fibras que restam no efluente e que chegam ao tratamento primário, são de baixa qualidade para serem recuperadas.

Cabe salientar que mesmo usando essas máquinas, existem lodos que são difíceis de serem desaguados, mormente aqueles produzidos em processos biológicos.

3.4. Disposição final do lodo

O lodo do tratamento de efluentes pode ser incinerado, disposto em aterros ou transformado em adubo por processo de compostagem, isto dependendo de sua qualidade e das condições locais.

A concentração do lodo varia conforme o ponto da fábrica. No clarificador pode apresentar entre 1 e 4%, apresentando depois do desaguamento valores entre 15 e 50%.

O teor de cinzas (material inorgânico) também varia bastante, por exemplo, em fábricas de celulose os valores ficam entre 10 e 30%, enquanto em fábricas de papel, estão entre 50 e 70%.

Geralmente, por motivos econômicos, efetua-se a recuperação e reutilização das fibras coletadas nos diferentes efluentes da fábrica. A incineração, entretanto, já foi considerada uma alternativa para a disposição de lodos com menos de 10% de cinzas, principalmente em fábricas onde se queima biomassa. Essa alternativa também se usa papéis reciclados, que fazem com que ocorra um aumento muito grande no teor de sólidos nos lodos, que precisam ser incinerados para reduzir os volumes de resíduos sólidos que vão para os aterros (DIEHN & ZUERCHER,1990).

Normalmente, os valores típicos de poder calorífico apresentados por estes materiais são:

-Lodo primário com 10% de cinzas	18,0 MJ/Kg sólidos secos (4.299 Kcal/Kg)
-Lodo secundário (biológico)	
-de lagoa aerada	8,5 MJ/Kg sólidos secos (2.030 Kcal/Kg)
-de lodo ativado	15,0 MJ/Kg sólidos secos (3.583 Kcal/Kg)

O poder calorífico médio para 1,0 Kg de material combustível é de 23 MJ/Kg (5.494 Kcal/Kg) (UNEP,1981).

Cabe salientar que quando se queima lodo junto com cascas, a eficiência da caldeira diminui entre 1 e 2%, principalmente devido ao aumento da quantidade de gases combustíveis. Comenta-se, ainda, que para se obter uma combustão "autotérmica" (sem combustível adicional) é necessário que o teor de sólidos do lodos esteja por volta dos 30%, principalmente quando se trabalha com uma mistura de lodo primário e secundário (UNEP,1981).

Aqui no Brasil, a prática mais comum é a simples disposição dos resíduos sólidos em aterros, embora a tendência moderna seja diferente. BENTLEY (1990) comenta que a Agência de Proteção ao Meio Ambiente (EPA) dos Estados Unidos aplica um procedimento desenvolvido há mais de 100 anos para hierarquizar e tentar resolver da melhor maneira possível este tipo de problema. Preconisa, primeiro, a redução do volume; segundo, a reciclagem e depois, a incineração; e, por último, dispor em aterros.

4. FILTRO-PRENSA DE PLACAS

4.1. Características

Para uma reutilização ou disposição do lodo, é conveniente que se efetue seu desaguamento, sendo que a operação unitária mais usada para isto é a Filtração.

Esta pode ser definida como sendo a separação de sólidos pela passagem de uma suspensão através de um leito permeável, que retém as partículas (SVAROVSKY,1981; TALCOTT,1980). Ao se forçar a suspensão através do leito (o meio filtrante), os sólidos ficam nele retidos, formando um depósito comumente denominado "torta", sendo que o líquido que passa pelo leito recebe o nome de "filtrado".

A filtração obtida por contra-pressão mecânica do lodo é o método de desaguamento que opera com as mais altas pressões, podendo, portanto, levar à obtenção de concentrações mais elevadas em sólidos secos.

Um esquema típico deste equipamento é mostrado na Figura 4, sendo o princípio de operação descrito a seguir. O lodo é bombeado para dentro das câmaras formadas entre as placas, usando-se para isto uma bomba de alta pressão, geralmente do tipo de deslocamento positivo. As placas são cobertas com um material filtrante (tela sintética), que permite que o líquido flua através das telas, retendo, dentro das câmaras formadas entre as referidas placas, a torta, resultante da concentração de sólidos do lodo. A medida que a quantidade de torta aumenta dentro das câmaras, o fluxo através do filtro vai diminuindo, até que após um certo tempo de operação, a filtração tem que ser interrompida para o descarregamento da torta, que pode ser feito manualmente ou através de sistema automático (MERZ,s.d.).

As pressões normais de trabalho ficam entre 0,69 e 1,47 MPa (7 e 15 Kgf/cm²) (LAMPOGLIA *et ali.*,1982), usadas nos desaguamentos de lodos comuns, obtendo-se concentrações de sólidos secos entre 30 e 40%. A capacidade específica de filtragem está entre 50 e 200 L/h.m², sendo que os maiores filtros apresentam áreas de filtração da ordem de 600 L/h.m².

Com este tipo de equipamento, lodos de fábricas de papel podem ser desaguados facilmente, principalmente por apresentarem altos teores de sólidos (cinzas e/ou fibras), podendo-se chegar até 40-50% ou mais de sólidos secos.

Entretanto, os filtros-prensas não têm sido muito usados na indústria de celulose e papel. RADUENZ (1989) comenta que as principais razões para isto são: a) a capacidade limitada por unidade; b) o alto custo despendido com mão-de-obra; e c) o alto custo de manutenção.

Isto podia ser verdade no passado, mas hoje, estes filtros podem além de operados automaticamente, serem construídos com materiais mais baratos e muito resistentes.

Cabe lembrar que GOMIDE (1980) e METCALF & EDDY (1979) fornecem as principais vantagens atribuídas ao uso deste tipo de filtro : a) Construção simples, robusta e econômica; b) Possibilidade de se ter grande área por unidade implantada; c) Flexibilidade quanto ao modo de operação, podendo-se aumentar ou diminuir o número de placas, conseguindo-se assim variar sua capacidade; d)

Não tem partes móveis; e) Os vazamentos são detectáveis com grande facilidade; f) Trabalham com pressões de até 4,9 MPa (50 Kgf/cm²); g) A manutenção é simples e econômica, pois na maior parte das vezes só se troca os elementos filtrantes; h) Pode-se obter altas concentrações de sólidos nas tortas; i) Obtem-se baixas concentrações de sólidos nos filtrados; j) Geralmente, é baixo o consumo de reagentes químicos; e k) Ocorre alta retenção de sólidos nas telas.

Entretanto o próprio GOMIDE (1980) comenta que as principais desvantagens são: a) A operação é intermitente, pois a filtração tem que ser interrompida quando as câmaras estiverem cheias de tortas; e b) O custo da mão de obra de operação (montagem e desmontagem) é elevado, mormente em filtros pequenos e com operação manual.

Estes fatores negativos são minimizados em um desenvolvimento recente: o filtro-prensa do tipo membrana ou de diafragma. As placas são de polipropileno e possuem, em um dos seus lados, uma membrana que pode ser inflada com água ou com ar comprimido. O ciclo de filtração é mais reduzido que o obtido nos aparelhos convencionais. Na Figura 5 têm-se de uma forma esquematizada e em detalhes, o funcionamento de um filtro deste tipo.

4.2. Principais parâmetros de filtração em filtros-prensas

Como já comentado anteriormente, restringiu-se o presente estudo à análise do uso de filtros-prensas de placas, no desagregamento de lodos que neste caso específico, apresenta, entre outros, os seguintes parâmetros de processo:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| a) Pressão máxima de filtração | (BROWN, 1982) |
| b) Duração do ciclo de filtração | (MOIR, 1982) |
| c) Espessura adequada da torta | (MILLER, 1980; NETZSCH, 88) |
| d) Umidade da torta | |
| e) Taxa de filtração | (RADUENZ, 1989) |
| f) Meio filtrante | |
| g) pH da suspensão | (DORR-OLIVER, 1980) |
| h) Condicionamento do lodo | (MILLER, 1980) |
| i) Concentração de sólidos | (MILLER, 1980) |

Relatos sobre experiências industriais envolvendo desaguamento de lodo com filtração sobre pressão, utilizando filtros-prensas de placas, de rosca cônica e de correia são frequentemente relatadas e foram reunidas, analisadas e discutidas por PASCHOALIM (1992).

5. Materiais e métodos

5.1. Materiais

O lodo usado nos experimentos foi coletado na estação de tratamento de efluentes da fábrica de papel jornal PISA -Papel de Imprensa S.A., localizada em

Jaguariáiva/Pr. Apresentava nesta ocasião uma temperatura de 22°C, uma quantidade de sólidos de 3% e uma densidade de 930 kg/m³ (0,98 kg/L).

Esse lodo foi recolhido no tanque geral de coleta de lodos que fica antes da adição de produtos químicos usados no ajuste de pH e floculação, podendo ser considerado como um lodo primário "in natura", sem condicionamento químico.

5.2. Métodos

Os ensaios de filtração foram realizados em três etapas: ensaios preliminares de bancada, ensaios de bancada e ensaios em planta piloto.

Nos ensaios preliminares utilizou-se um só meio filtrante e uma só temperatura, variando-se a espessura da torta e a pressão máxima de filtração, segundo os níveis que são apresentados na Tabela 1.

Nesta Tabela estão os níveis e as variáveis consideradas nos ensaios de bancada e na tabela 2 estão as principais características dos meios filtrantes. Nos ensaios em planta piloto foram consideradas as variáveis e níveis apresentadas na tabela 3. Os níveis foram escolhidos conforme recomendações do fabricante dos meios filtrantes (REMAE) s. data; dos valores máximos e mínimos temperatura em que o lodo é desaguado na PISA (1990); valores de espessura típicos para as tortas (NETZSCH,1988); e, valores típicos de pressão (LAMPOGLIA *et ali.*,1982).

Na Tabela 4 mostra-se as combinações de variáveis estudadas nos 30 ensaios que foram realizados com o lodo. Os três primeiros foram denominados de "preliminares", pois foram usados para determinar o melhor volume de suspensão a ser filtrado, assim como determinar a curva de elevação de pressão e a duração do ciclo de filtração. Aproveitou-se também para determinar a influência da espessura das tortas, uma vez que elas devem ser proporcionais aos volumes processados de suspensão, nos parâmetros de filtração (duração dos ciclos e taxas de filtração; umidade e tipo das tortas formadas, etc).

Os ensaios de bancada foram realizados em equipamento cujo esquema é apresentado na Figura 6 e frequentemente usado em laboratório para simular processos de filtração sob pressão.

Para realizar cada ensaio deste tipo, um volume de lodo a ser filtrado é colocado dentro do dispositivo de filtração, já montado com o meio filtrante. Em seguida o mesmo é fechado, dando-se início à filtração através da alimentação de ar comprimido, feita pela parte superior do dispositivo. O filtrado é recolhido num cilindro graduado e com auxílio de um cronômetro, registrava-se de tempos em tempos os respectivos volumes de filtrado. Uma vez terminado o escoamento de filtrado (término da filtração), fecha-se o ar comprimido e abre-se o dispositivo para recolher a torta. O filtrado é avaliado visualmente quanto à sua turbidez.

Determina-se a espessura da torta ainda úmidas. Assim como o seu teor de sólidos secos, pois este se relaciona com o seu provável poder calorífico, como, por exemplo, é mostrado no gráfico apresentado na Figura 7 (CBC e GASA).

Para se realizar os ensaios em planta piloto foram usados os equipamentos montados conforme mostra o esquema da Figura 8. Compõe-se de um filtro-prensa, fabricado pela NETZSCH do Brasil, com placas de polipropileno de 250x250 mm, com fechamento hidráulico, dotado de bomba de alimentação por deslocamento positivo, modelo NEMO 4.NE.15.A., de fabricação NETZSCH do Brasil, com variador de velocidade. Conta ainda de um painel de controle que integra as operações do sistema e de um tanque com agitador, com um volume de 100 litros.

Nesta planta, já com o filtro montado com o meio filtrante, o lodo é colocado no tanque com o agitador operando a 150 rpm. Energizando a bomba NEMO inicia-se a filtração, ajustando-se a pressão máxima para o ensaio através do pressostato, assim como a vazão através do controle da velocidade da bomba. O filtrado vai sendo coletado num cilindro graduado, cronometrando-se o tempo. Terminada a filtração, passa-se ar comprimido pelo sistema para compactar as tortas formadas e depois, abre-se as placas para retirar as tortas.

A taxa de filtração, T.F., foi calculada pela seguinte expressão (RADUENZ,1989):

$$T.F. = \frac{\text{volume de filtrado}}{\text{tempo} \times \text{área de filtração}} \quad (\text{L/h.m}^2)$$

As taxas possíveis de serem calculadas são: a instantânea, a acumulada e a média. A primeira é calculada tomando-se por base o volume de filtrado recolhido entre duas tomadas de dados consecutivas. Sua importância reside no fato de que há um valor mínimo que indica que a filtração chegou ao fim. Esse valor fica ao redor de 15 L/h.m² (RADUENZ,1989).

A taxa acumulada leva em consideração o intervalo de tempo desde o início da filtração até o instante em questão e o volume de filtrado recolhido. Sua importância reside no fato de que ela mostra o consumo de solução que se está filtrando a cada instante.

A taxa média é igual a acumulada, mas considera o tempo total de filtração e o volume total de filtrado recolhido. Este dado que é usado para dimensionar a área de filtração necessária num certo processo.

6. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

6.1 Ensaios preliminares de bancada: Resultados e Comentários

Estes ensaios foram realizados para se determinar o volume de suspensão de lodo a ser usado nos experimentos de filtração a nível de bancada. Na tabela 5

apresenta-se o resumo dos resultados dos principais parâmetros obtidos nesses ensaios.

Baseando-se estes resultados decidiu-se que para os próximos 24 ensaios de bancada seria usado o volume de 100 ml de suspensão. Isto porque durante os ensaios, o volume de 100 ml levou um tempo de filtração de 4 minutos, considerado mais adequado que 2 minutos, ou 10 minutos, obtidos respectivamente com volumes de 50 e de 150 ml.

Durante a realização destes ensaios, observou-se que à medida que se aumentava a pressão de filtração, tanto o volume de filtrado recolhido no intervalo, como a taxa de filtração instantânea diminuíam, mostrando que a torta se comportava como uma "esponja", ou seja, os canais se fechavam oferecendo maior resistência ao escoamento de líquidos, mostrando um comportamento típico de uma torta do tipo compressível.

Verificou-se ainda que há uma relação de tempo de filtração e o volume de filtrado, por exemplo, para 50 e 100 ml, têm-se 2 e 4 minutos. Mesmo acontece com a pressão final que aumentada de 3,0 para 4,0 Kgf/cm² faz com que o teor seco de uma torta de 4 mm seja apenas 32,79% contra 39,96% para uma de 2mm. Isto permite concluir que quanto maior a espessura, maior será a umidade da torta, desde que se mantenham fixos os demais parâmetros da filtração.

Ainda na tabela 5, pode-se verificar que as taxas de filtração instantânea, acumulada e média diminuem com o aumento da espessura da torta, juntamente devido ao aumento do tempo do ciclo de filtração, necessário para se completar o processo.

6.2 Ensaio de bancada : Resultados e comentários

Os resultados obtidos nos 24 ensaios de filtração de bancada são apresentadas detalhadamente por PASCHOALIM (1992). Com estes dados foram preparadas as Figuras 9 a 12, onde são apresentadas as curvas das taxas de filtração acumuladas (A) e instantâneas (B) em função do tempo de filtração para as três temperaturas consideradas em cada um dos quatro meios filtrantes utilizados.

Em bancada, à temperatura de 22^oC, foram efetuadas 3 passagens em cada meio filtrante sem lavagem intermediária do mesmo, com o objetivo de se averiguar possíveis entupimentos prematuros.

Para os meios filtrantes tipos 1098 T, 4400 e 2075 TNT, não houve diminuição significativa nas taxas de filtração na 2^a e 3^a passagens, e os três apresentaram taxas de filtração similares, mostrando-se, portanto, satisfatórios para a filtração do lodo em questão.

No caso do meio filtrante tipo 4390, que apresentava a maior permeabilidade ao ar (30-43 m³/min.m²), nos ensaios 7, 8 e 9, a 22^oC, notou-se entupimentos

prematureos na 2^a e 3^a passagens. Além disso, esse foi o único meio filtrante que permitiu a passagem de partículas maiores do lodo, produzindo filtrados turvos, devido à sua grande permeabilidade. Portanto, não se aconselha sua utilização como meio filtrante do lodo em questão.

Nas Figuras 9 a 12, nota-se que quanto maior a temperatura, dentro da faixa estudada, maiores são as taxas de filtração. Este fenômeno é mais visível nos primeiros 60 segundos de cada ciclo de filtração, sendo que a partir daí as taxas de filtração diminuem e aproximam-se nas diferentes temperaturas, visto que o lodo, e conseqüentemente a filtração estão terminando.

É evidente que numa filtração onde haja um grande volume a ser filtrado, essa influência da temperatura poderá ser observada durante um período maior do ciclo de filtração

Quanto aos meios filtrantes e à taxa de filtração instantânea no tempo de 15 segundos, vê-se ainda pelas Figuras 9 a 12, que os meios filtrantes 1098 T, 4400 e 2075 TNT, apresentam, a 40^oC essa taxa com valores similares, a saber, 1.683,12; 1.745,45 e 1.870,13 L/h m² a 40^oC; mostrando-se também nesse quesito, em desvantagem quando comparado aos outros três meios filtrantes.

Com os dados obtidos pode-se construir-se a Tabela 6, que permite uma melhor avaliação dos teores secos obtidos, nas três temperaturas consideradas, em cada um dos quatro meios filtrantes utilizados.

Esses dados, exceto os referentes ao meio filtrante 2075 TNT, permitem confirmar a influência positiva do aumento da temperatura do lodo, dentro da faixa estudada, no teor seco final das tortas obtidas.

Isto permite concluir que quanto maior a temperatura, na faixa de 22 a 40^oC, maiores as taxas de filtração, e conseqüentemente, maiores os teores secos finais obtidos nas toras.

6.3 Ensaio em escala piloto: Resultados e comentários.

Com resultados obtidos nos três ensaios pilotos de filtração preparou-se as Figuras 13 a 15, onde são apresentadas as taxas de filtração (A) e as pressões usadas (B) em função do tempo de filtração.

Pelo que foi comentado anteriormente, têm-se que os meios filtrantes 1098 T, 4400 e 2075 TNT poderiam ser utilizados indistintamente nesse processo de filtração. Assim, optou-se, então, pela utilização do 4400, tendo em vista sua já disponibilidade no filtro-piloto.

Observando as Figuras 13 a 14 (ensaios 28 e 29), verifica-se a influência significativa do tempo de duração do ciclo de filtração. No ensaio 28, com um ciclo total de 90 minutos e 8,5 kgf/cm², as tortas apresentaram um teor seco de apenas

35,82%, e miolos (regiões próximas ao canal de alimentação) com baixa consistência (moles), sinal de tortas ainda não completamente formadas. No ensaio 29, com um ciclo de 100 min e também com uma pressão maior (11,5 kgf/cm²), foram obtidas tortas com 60,25% de sólidos.

Cabe salientar que tortas não completamente formadas, além de apresentarem baixo teor seco, não permitem o descarregamento completo e fácil das telas filtrantes e os resultados exibidos pelos ensaios citados serviram para confirmar o fato de que na faixa estudada, quanto maior a pressão, melhor será a performance do processo de filtração, principalmente quanto à obtenção de maiores teores secos.

Ainda nas Figuras 14 a 15 (ensaios 29 e 30), pode-se constatar que para uma mesma duração do ciclo de filtração (100 min) e para uma pressão de 10,5 kgf/cm² (ensaio 30), obteve-se nas tortas com 15 mm de espessura um teor seco de 55,64%, enquanto que com 11,5 kgf/cm² (ensaio 29), obteve-se nas tortas com 20 mm de espessura, um teor seco de 60,25%.

Esses dados mostram que há uma influência positiva no teor seco das tortas quando se trabalha com espessuras menores.

Analisando em conjunto os dados obtidos, pode-se concluir que para o lodo em questão, os valores recomendados para que efetue uma boa filtração em um equipamento de placas são os seguintes:

- Pressão : 11,5 kgf/cm² ou mais, até o limite de 15 kgf/cm².
- Espessura da torta : 20 mm é uma ótima espessura.
- Duração do ciclo: com pressão de 11,5 kgf/cm² e 20 mm de espessura de torta, ciclos entre 100 e 120 min são bons para a etapa de filtração.
- Teor seco da torta: Com os parâmetros acima, consegue-se valores da ordem de 50%
- Temperatura: Numa fábrica de papel jornal geralmente a temperatura está acima de 22°C.
- Outros aspectos: Há de se considerar que lodos proveniente da mistura de efluentes primário e biológico, são mais difíceis de serem filtrados, entretanto há a possibilidade de se usar produtos químicos, os quais não foram usados nestes ensaios.

Voltando-se à Figura 7 e admitindo-se que se tenha conseguido um teor seco da ordem de 50%, têm-se pelo gráfico um poder calorífico inferior de cerca de 1900 Kcal/kg, significando uma produção de 2,15 kg de vapor/kg de combustível, isto para uma entalpia de 700 kcal/kg e um eficiência de caldeira de 80%.

7.0 CONCLUSÕES

7.1 A filtração sob pressão, utilizando um filtro-prensa de placas é um processo simples e eficiente para o desaguamento de lodos primários provenientes de fábricas de papel imprensa, apesar de ser um processo de operação descontínua.

7.2 Dentre os meios filtrantes estudados, os três que melhores resultados apresentaram, são de trama do tipo multifilamento e com permeabilidade ao ar na faixa de 0,6 a 1,5 m³/min.m².

7.3 Com as condições iniciais consideradas para o lodo e, dentro dos intervalos estudados de temperatura, espessura das tortas, pressão máxima e duração do ciclo de filtração nos ensaios de bancada e em escala piloto, pode-se concluir que:

- as tortas formadas são do tipo compressível;
- o teor seco das tortas e as taxas de filtração instantânea, acumulada e média aumentam com o aumento da temperatura, de 22 a 40°C;
- o teor seco e as taxas de filtração aumentam com a diminuição da espessura das tortas;
- o teor seco das tortas e as taxas de filtração aumentam com o aumento da pressão máxima de filtração;
- o teor seco das tortas e as taxas de filtração média diminui com o aumento da duração do ciclo de filtração.

7.4 Com base nos resultados obtidos e discussões feitas sobre os resultados dos ensaios de filtração para se obter em tortas um teor seco da ordem de 50%, pode-se recomendar os seguintes parâmetros básicos:

-pressão máxima	: 11,5 Kgf/cm ²
-espessura das tortas	: 20 mm
-duração do ciclo de filtração	: 120 min.
- meio filtrante:	
-permeabilidade do ar	: 0,6 a 1,5 m ³ /min.m ²
-material	: nylon, polipropileno ou poliéster
-espessura	: 0,50 a 0,75 mm
-peso base	: 320 a 380 g/m ²

7.5 Com teores secos obtidos nos ensaios de filtração em escala piloto, pode-se recomendar a incineração do lodo desaguado como um processo técnica e economicamente viável.

8. BIBLIOGRAFIA

- BENTLEY Jr, D. J. Solid waste disposal. TAPPI J., v. 73, n.2, p. 59-62, Febr. 1990.
- BROWN, T.R. Designing batch pressure filters. Chemical Engineering, July, 26, p.58-63, 1982.
- CBC-Indústrias Pesadas S.A. Poder calorífico de cascas de coníferas (pinus) e cascas de eucalyptus em função da umidade. Informe Técnico, 2p., São Paulo, sem data.
- CETESB. Resíduos sólidos industriais. São Paulo, CETESB, 1985, 182p. (Série Atlas, 1). IN: LIMA, L.M.Q. Curso de Tratamento de Resíduos Sólidos, 3^o, São Paulo, S.P. ABEQ, 1989. (Apostila de curso).
- DIEHN, K. ZUERCHER, B. A waste management program for paper mill sludge high in ash. Tappi J. 73 (4):81-86(1990).
- DORR-OLIVER. Selecting and sizing Dorr Oliver filters-Filtration leaf test procedures. Bulletin 252-LT. 31p., USA, 1980.
- FKC AMERICA. Informe Técnico: Screw Press-Sludge and pulp dewatering. s.data, 12p.
- GASA-Gurgel Araujo S.A. Informe Técnico: Produção específica de vapor x unidade da biomassa. São Paulo. s.data. 1p.
- GOMIDE, R. Separações mecânicas. Série: Operações unitárias, v.3, São Paulo, 1980, 199 p.
- JAMES, B. KANE, P.W. Sludge dewatering and incineration at Westvaco, North Charleston, S.C. Tappi J. 74(5): 131-7 (1991).
- KLAUSEN, A.I. NORLLI, L. Recent development in screw-press technology. Informe Técnico. Kvaerner Eureka A/S. Noruega, 1989. 13p.
- LAMPOGLIA, T. C. *et alii*. Projeto de instalação de desidratção de lodo, com a utilização de filtros-prensa de placas. REVISTA DAE, n. 128, p. 69-81, Março 1982.
- LEGAT, L. F. Curso básico de tratamento de efluentes. Programa de Aperfeiçoamento Profissional - PROAPE, PISA Papel de Imprensa S.A. 1988, 20 p. (Apostila).
- LIMA, L. M. Q. Curso de tratamento de resíduos sólidos, 3^o, São Paulo S.P. ABEQ, 1989. (Apostila).
- MERZ, A. Filtro-prensa de câmaras na extração de água de lodos industriais e de esgotos coletivos. Informe técnico: NETZSCH do Brasil. São Paulo, s. data, 4p.
- METCALF & EDDY Inc. Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse. 2^a ed. McGraw Hill, New Delhi, 1979, 920 p.
- Miller, S. A. Filtração: Sistemas sólidos-líquidos. In: PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. (editores), Manual de Engenharia Química, 5^a ed., Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980, cap. 19.
- MOIR, D. N. Selecting batch pressure filters. Chemical Engineering, July 26, p. 47-57, 1982.
- NETZSCH. Informação técnica FP 8410 - B. Filtros-prensa para separação sólidos-líquidos. Netzsch do Brasil, São Paulo, 8 p. 1988.
- PASCHOALIM, L. G. Contribuição ao estudo do desagregamento de lodos provenientes de efluentes de fábricas de papel imprensa visando seu posterior aproveitamento como combustível. Dissertação de Mestrado, Depto. Engenharia Química, EPUSP, 1992. 99p.
- PISA. Papel de Imprensa S.A. Descrição geral do projeto de expansão da fábrica de papel jornal para o BNDES. 1989. (Relatório)
- PISA. Papel de Imprensa S.A. Operação da Estação de Tratamento de Efluentes. Boletim mensa, Jaguariaíva, Paraná, Junho, 1990. 3 p.
- RADUENZ, F. Netzsch do Brasil. Pomerode / SC, Informações pessoais. 1989.
- REMAE. Especificações de meios filtrantes. São Paulo, s. data, Informe Técnico, 3 p.
- STEINER, C. *et alii*. Resíduos sólidos industriais ou bens de produção? O conceito da Riocell. O PAPEL, n. 7, p. 45-53, Julho 1989.
- SVAROVSKY, L. Solid-liquid Separation, 2^a ed., Butterworths & Co., London, 1981, 556 p.
- TALCOTT, R. M. *et alii*. Filtration. In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, v. 10, 3^a ed., p. 284-337. John Wiley & Sons, 1980, 54 p. (Apostila)
- UNEP - United Nations Environmental Program. Environmental Management in the Pulp and Paper Industry. Moscow, Russia, 2 V, 1981.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos companheiros da Netzsch do Brasil, PISA-Papel de Imprensa S.A., IPT-DPFTC/ACP, e outros cuja ajuda e incentivo tornaram possível a realização deste trabalho.

Tabela 1 Níveis das principais variáveis consideradas nos 27 ensaios de bancada.

Item	Unidade	Valor
A. ENSAIOS PRELIMINARES (1 a 3)		
- Meio filtrante: Tipo / C6250 Permeabilidade ao ar Demais detalhes vide Tabela 4	m ³ /min.m ²	109BT/(PA1) 0,6 - 0,8
- Temperatura do lodo	°C	22 (T1)
- Espessura da torta	mm	2,0 (S1) 4,0 (S2) 6,0 (S3)
- Pressão máxima de filtração	Kgf/cm ²	4,0 (P1) 5,0 (P2)
B. ENSAIOS DE BANCADA (4 a 27)		
- Temperatura	°C	22 (T1) 32 (T2) 40 (T3)
- Pressão máxima de filtração	Kgf/cm ²	4,0 (P1)
- Espessura da torta	mm	4,0 (S2)
- Meio Filtrante:		vários*
* Identificados em cada caso		

Tabela 2 Principais características* dos meios filtrantes usados nos ensaios de bancada.

Código	PA1	PA2	PA3	PA4
Tipo de tela	109BT	4390	4400	2075TNT
Permeabilidade ao ar (m ³ /min.m ²)	0,6-0,8	30-43	0,6-0,9	0,6-1,5
Material	NY	PP	PP	PE
Trama	Multi	Mono	Multi	Multi
Peso base (g/m ²)	355	320	420	380
Espessura (mm)	0,62	0,75	0,84	0,50

Legenda: NY - Nylon; PP - Polipropileno; PE - Poliéster
 Mono - Monofilamento; Multi - Multifilamento
 * Dados extraídos das tabelas fornecidas pela firma RUMAE

Tabela 3 Níveis das principais variáveis consideradas nos ensaios em escala piloto.

Item	Unidade	Valor
Espessura da torta	mm	20 (S4) 15 (S5)
Duração do ciclo de filtração	min	90 (I1) 100 (I2)
Pressão máxima de filtração	Kgf/cm ²	8,5 (P3) 11,5 (P4) 10,5 (P5)
Meio Filtrante:	/	
Tipo	-	4400 (PA3)
Permeabilidade ao ar	m ³ /min.m ²	0,6 - 0,9
Material	-	Polipropileno
Trama	-	Multifilamento
Peso base	g/m ²	420
Espessura	mm	0,84

Tabela 4 - Espuma utilizada na combinação das variáveis e teste de análise de variância

Número do ensaio	Combinação das variáveis	Passagem	Observações
1	PA1 S1 T1 P1	única	Ensaio preliminar de bancada
2	PA1 S2 T1 P1	única	
3	PA1 S3 T1 P2	única	
4	PA1 S2 T1 P1	1	Ensaio de bancada
5	PA1 S2 T1 P1	2	
6	PA1 S2 T1 P1	3	
7	PA2 S2 T1 P1	1	
8	PA2 S2 T1 P1	2	
9	PA2 S2 T1 P1	3	
10	PA3 S2 T1 P1	1	
11	PA3 S2 T1 P1	2	
12	PA3 S2 T1 P1	3	
13	PA4 S2 T1 P1	1	
14	PA4 S2 T1 P1	2	
15	PA4 S2 T1 P1	3	
16	PA1 S2 T1 P1	1	
17	PA1 S2 T1 P1	2	
18	PA2 S2 T1 P1	1	
19	PA2 S2 T1 P1	2	
20	PA3 S2 T1 P1	1	
21	PA3 S2 T1 P1	2	
22	PA4 S2 T1 P1	1	
23	PA4 S2 T1 P1	2	
24	PA1 S2 T1 P1	única	
25	PA2 S2 T1 P1	única	
26	PA3 S2 T1 P1	única	
27	PA4 S2 T1 P1	única	
28	PA3 S4 T1 P3 T1	única	Ensaio-Piloto
29	PA3 S4 T1 P4 T2	única	
30	PA3 S5 T1 P5 T2	única	

Tabela 5 - Parâmetros e resultados principais dos 3 ensaios preliminares de bancada. Temperatura: 22°C; meio filtrante 1098 T

Ensaio nº	Vol. susp. (ml)	Tempo filtr. (min)	Pressão máx. Kgf man	Espec. torta (mm)	Teor seco na torta (%)	Taxa média filtração (l/h.m ²)
1	50	2	3,0	2	39,96	249,35
2	100	4	4,0	4	32,79	245,45
3	150	10	5,0	6	35,45	207,27

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de filtração em bancada

Ensaio nº	meio filtrante tipo	Temperatura (°C)	Teor seco (%)
4,5,6 (média)		22	33,11
24	1098 T	32	35,64
16,17 (média)		40	40,32
7,8,9 (média)		22	32,86
25	4390	32	33,57
18,19 (média)		40	41,62
10,11,12 (média)		22	30,98
26	4400	32	35,85
20,21 (média)		40	40,12
13,14,15 (média)		22	35,48
27	2075 TNT	32	40,51
22,23 (média)		40	37,80

Tabela 7: Comparação dos principais parâmetros dos ensaios pilotes de filtração (29, 20 e 30)

Parâmetros	Ensaio 23	Ensaio 29	Ensaio 30
Espessura da Torta (mm)	20	20	15
Pressão máxima de filtração (Kg/cm ²)	8,5	11,5	10,5
Duração do ciclo (min)	90	100	100
Número de tortas	3	3	2
Velocidade da bomba (rpm):			
- início	150	200	200
- fim	menor que 50	110	80
Taxa de filtração (l/min):			
- média	74,07	80,26	91,34
- última taxa instantânea	22,02 (1)*	33,33 (9)*	26,87 (5)*
Teor seco das tortas (%)	35,82	60,25	55,64

(*) Significa o número de vezes que a última taxa de filtração instantânea repetiu-se no ensaio.

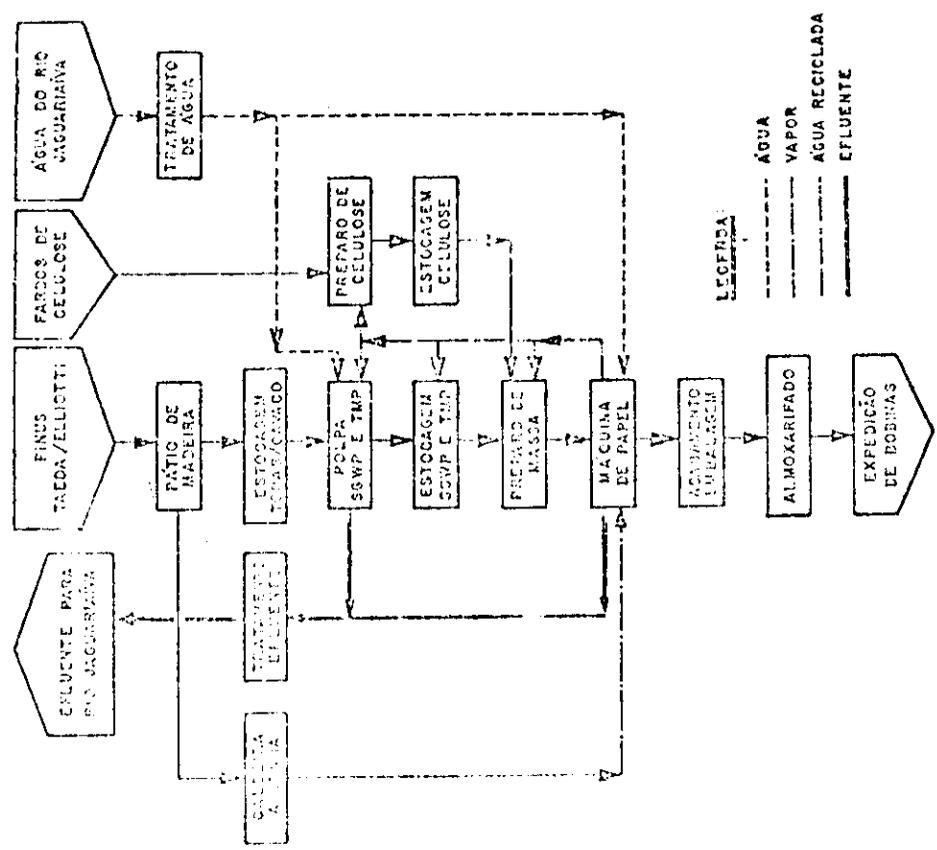
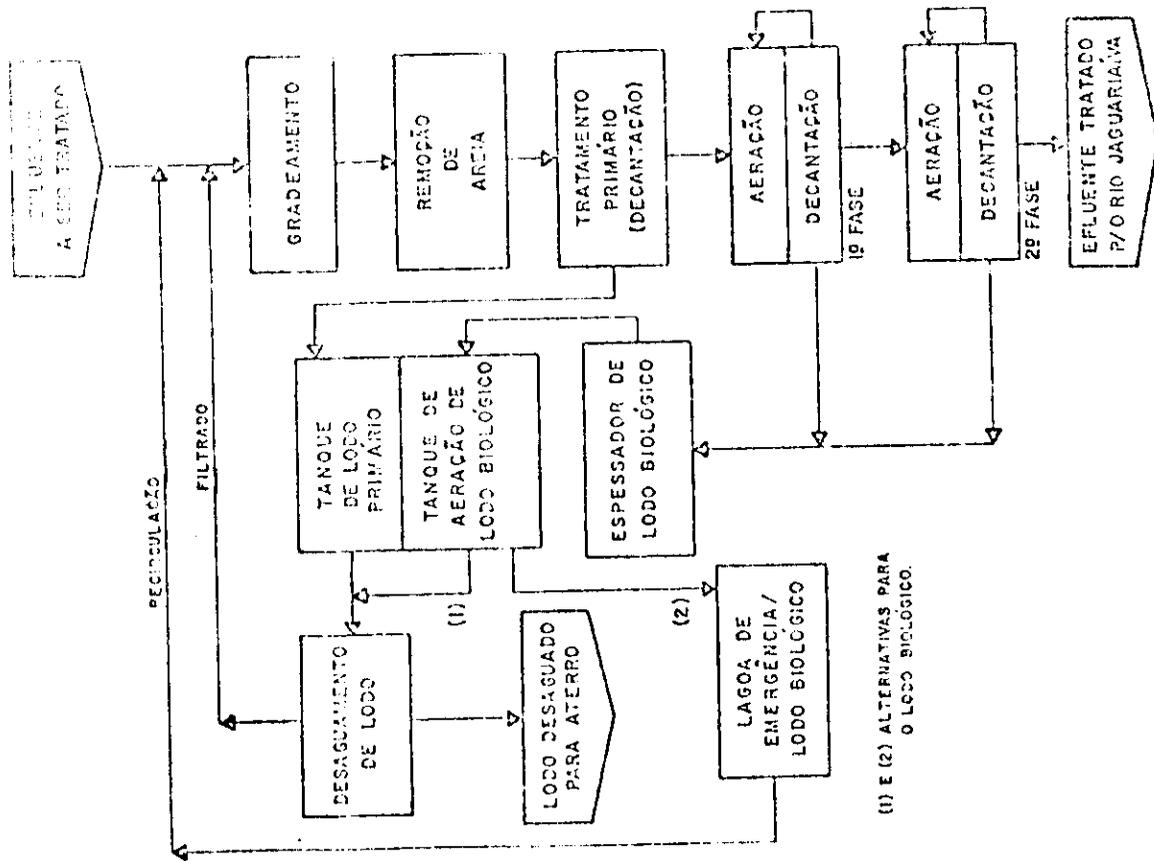


FIGURA 1: DIAGRAMA DE BLOCOS DA FÁBRICA DE PAPEL IMPRENSA - PISA - EM JAGUARAIÁ - PR (PISA, 1989).



(1) E (2) ALTERNATIVAS PARA O LODO BIOLÓGICO.

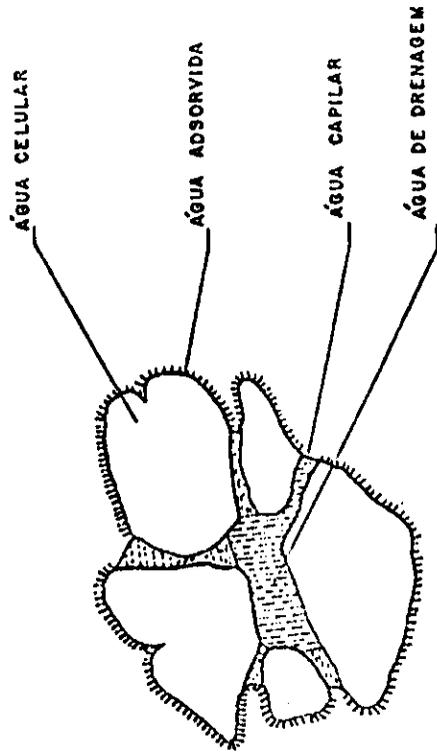


FIGURA 3 : PARTÍCULA DE LODO (UNEP, 1981)

FIGURA 2 : DIAGRAMA DE BLOCOS DA E.T.E. DA FÁBRICA FISA EM JAGUARUÁ, PR (PISA, 1989).

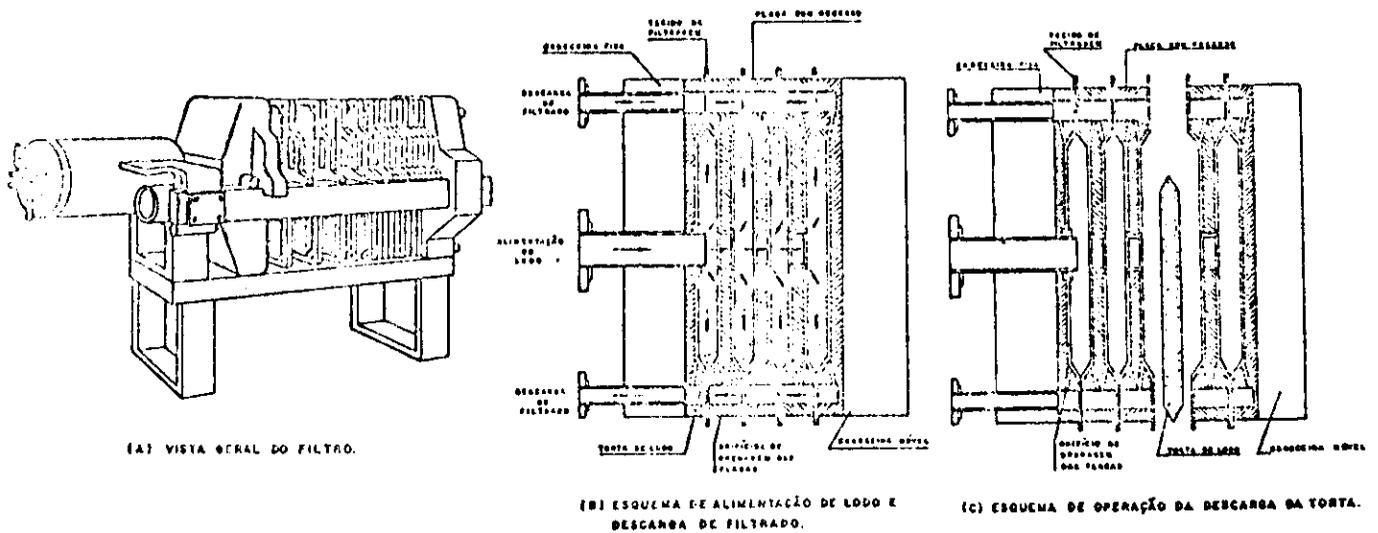
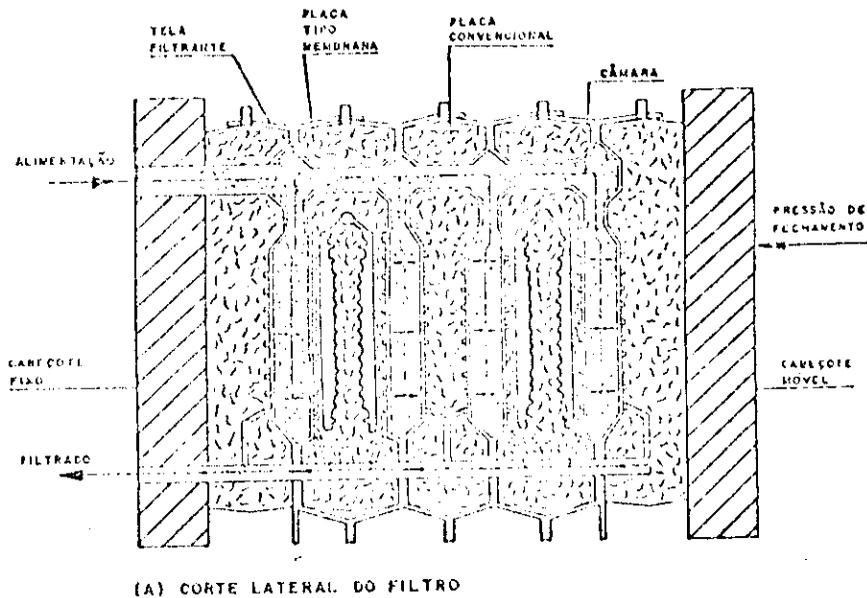


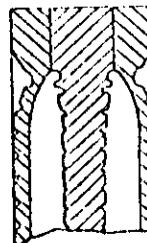
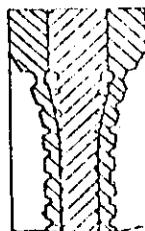
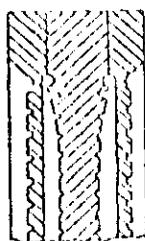
FIGURA 4 : FILTRO-PRENSA DE PLACAS ((B) e (C): LAMPOGLIA ET ALII , 1982)
 ((A): MOIR, 1982)



1. POSIÇÃO DAS MEMBRANAS NO INÍCIO DA OPERAÇÃO.

2. DURANTE A FILTRAÇÃO AS CÂMARAS SÃO PREENCHIDAS A PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO FORÇA AS MEMBRANAS CONTRA O NÚCLEO DA PLACA

3. DURANTE A PRESSURIZAÇÃO DAS MEMBRANAS AS MESMAS SÃO PRESSIONADAS CONTRA AS TOX JÁ FORMADAS.



(B) DIAGRAMA DE FORMAÇÃO DA TORTA

FIGURA 5 : ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM FILTRO-PRENSA DE PLACAS TIPO MEMBRANA (FR 101 NETZSCH)

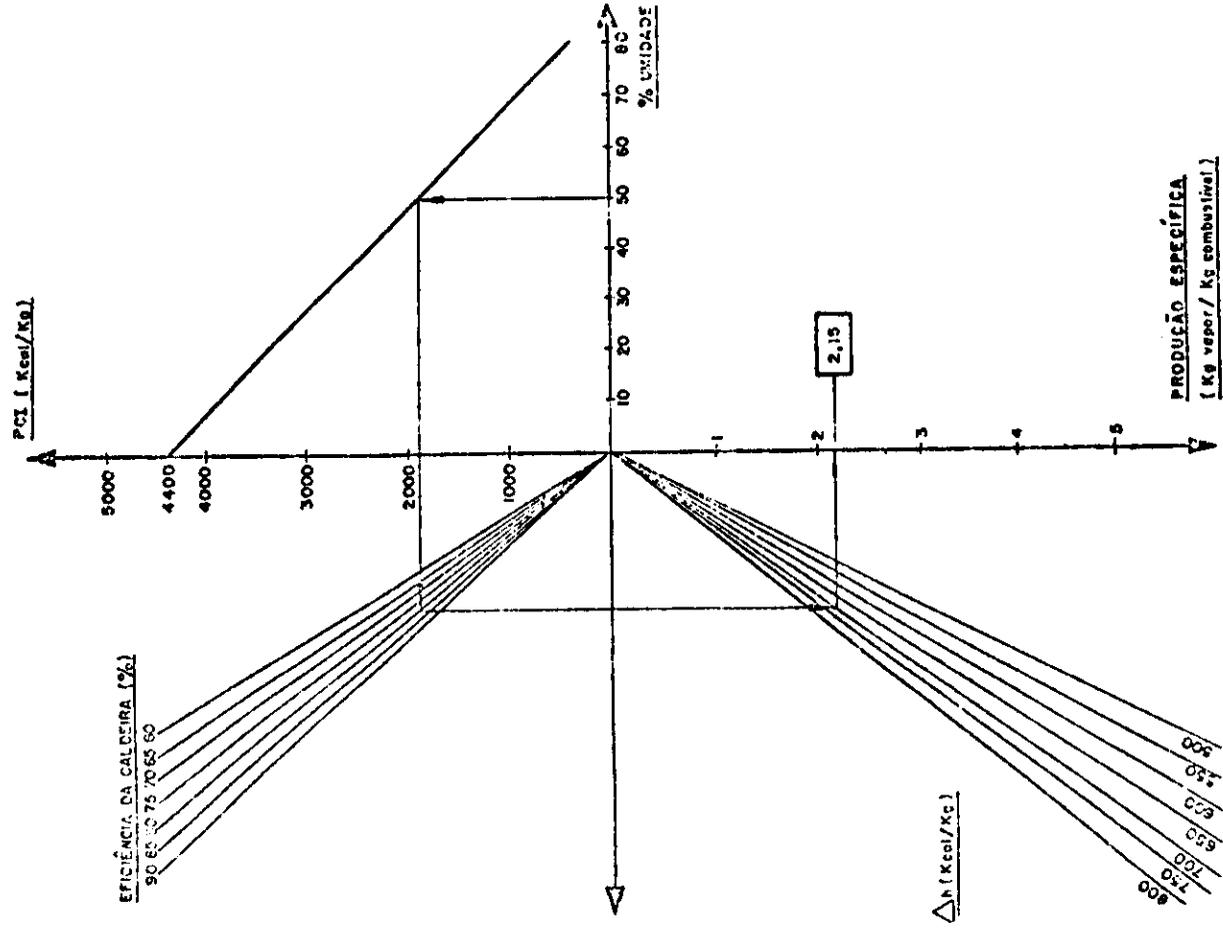


FIGURA 7 PODER CALORÍFICO INFERIOR (E PRODUÇÃO ESPECÍFICA DE VAPOR) EM FUNÇÃO DA UNIDADE DA BIOMASSA (G() • CBC)

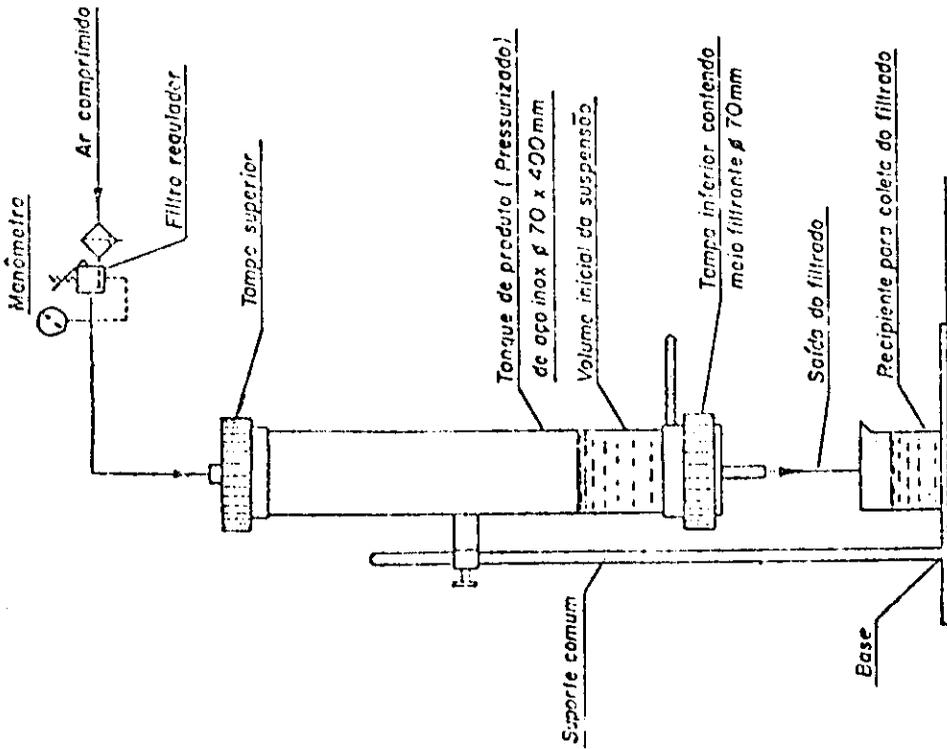


Figura 6 Dispositivo para ensaios de filtração de bancada tipo tubo pressurizado (RADUENZ, 1989).

Tanque de lodo com
agitação - 100 l -

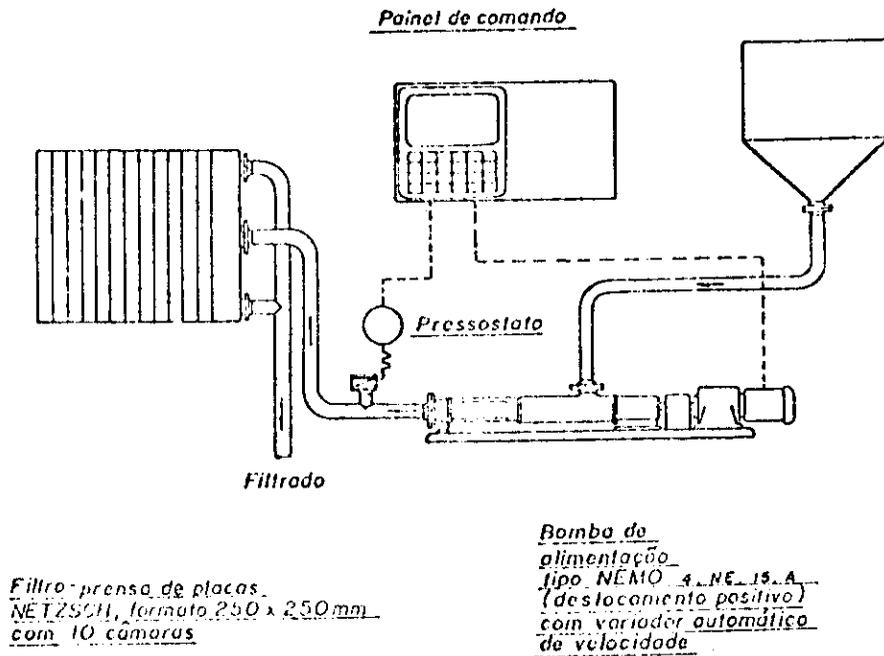


Figura 8 : Esquema dos equipamentos utilizados para os
ensaios em escala piloto de filtração.

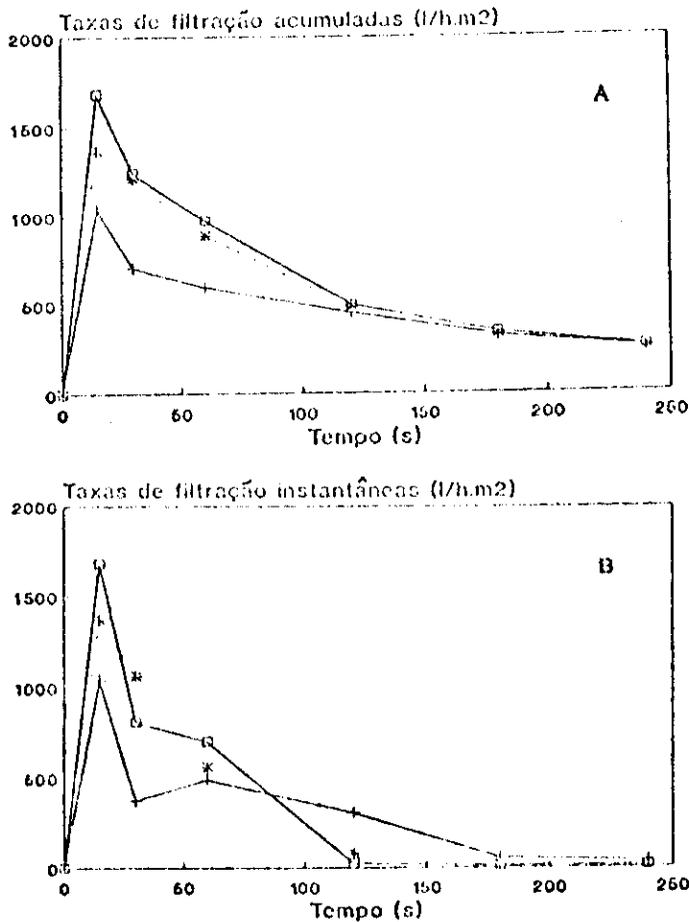


Figura 9 : Taxas de filtração acumuladas (quadro A) e instantâneas (quadro B) em função do tempo para os ensaios de bancada com meio filtrante 1098 T nas temperaturas de:
(□) 22°C (médias dos ensaios 4, 5 e 6);
(×) 32°C (ensaio 24);

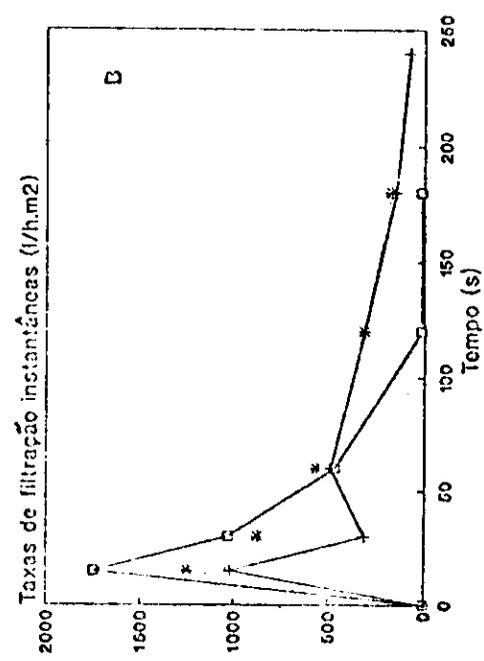
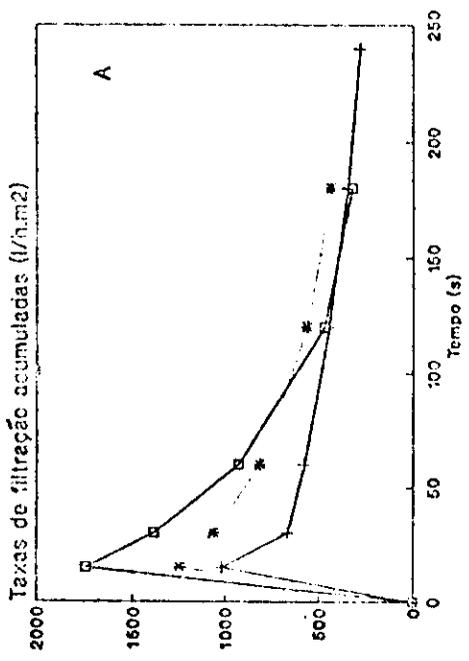


Figura 11 Taxas de filtração acumuladas (quadro A) e instantâneas (quadro B) em função do tempo para os ensaios de bancada com meio filtrante 4409 nas temperaturas de: (+) 22°C (médias dos ensaios 10, 11 e 12); (*) 32°C (ensaio 26); (□) 40°C (médias dos ensaios 20 e 21).

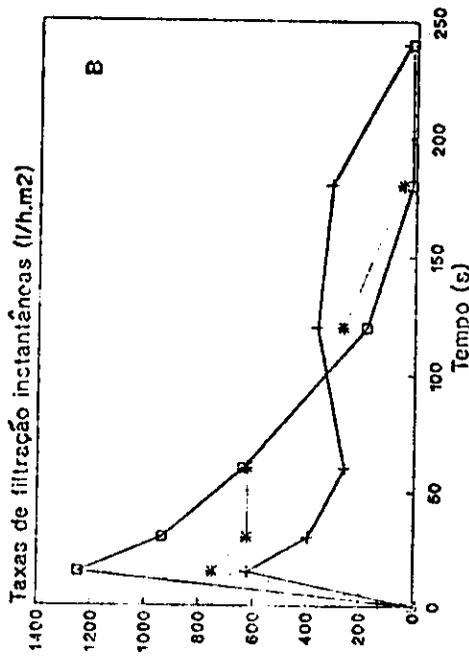
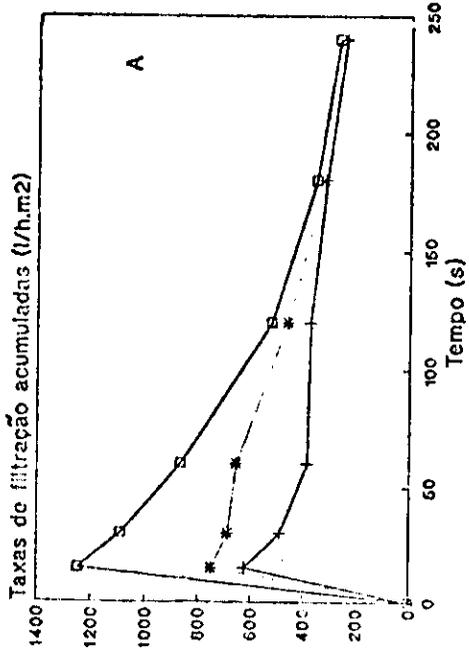


Figura 10 Taxas de filtração acumuladas (quadro A) e instantâneas (quadro B) em função do tempo para os ensaios de bancada com meio filtrante 4390 nas temperaturas de: (+) 22°C (médias dos ensaios 7, 8 e 9); (*) 32°C (ensaio 25); (□) 40°C (médias dos ensaios 18 e 19).

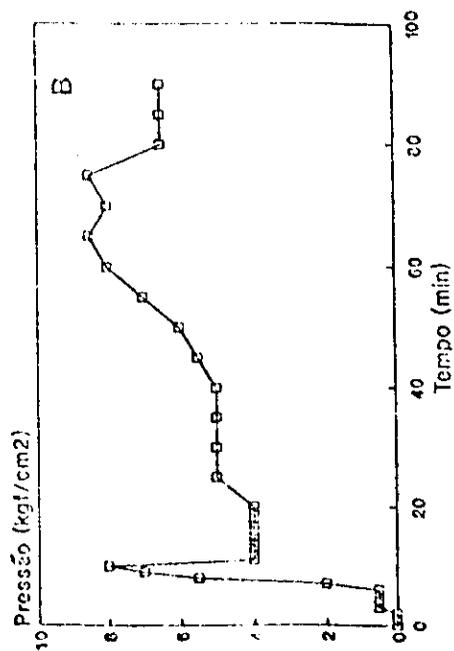
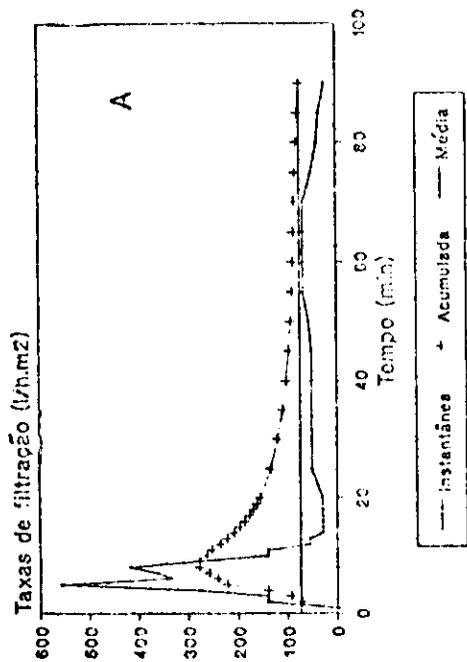


Figura 13 Taxas de filtração (quadro A) e pressão (quadro B) em função do tempo - Ensaio 28 (primeiro ensaio piloto).

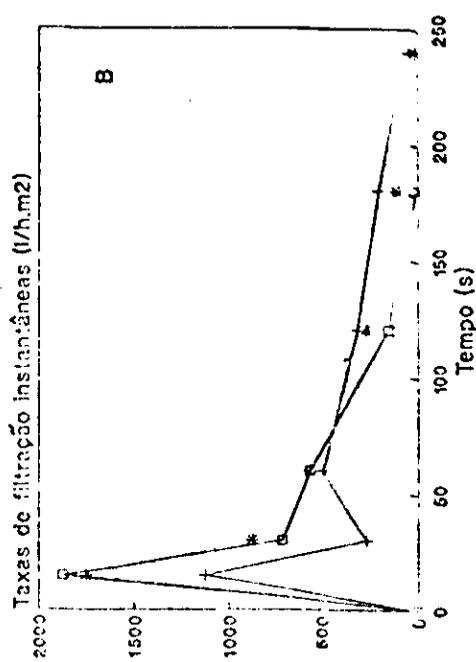
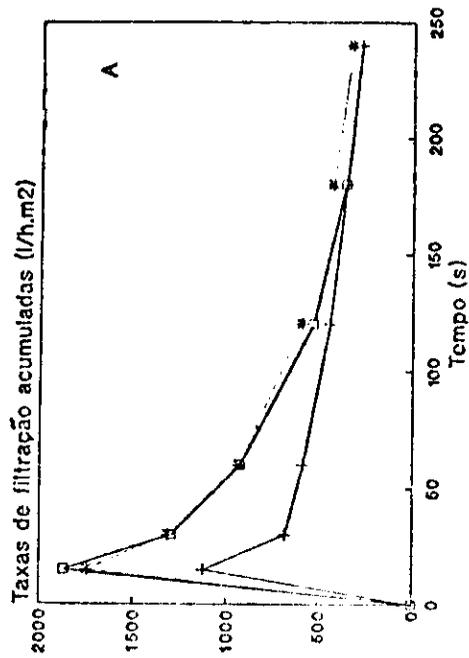


Figura 12 Taxas de filtração acumuladas (quadro A) e instantâneas (quadro B) em função do tempo para os ensaios de bancada com meio filtrante 2075 TN1 nas temperaturas de:
 (+) 22°C (médias dos ensaios 13, 14 e 15);
 (*) 32°C (ensaio 27);
 (□) 40°C (médias dos ensaios 22 e 23).

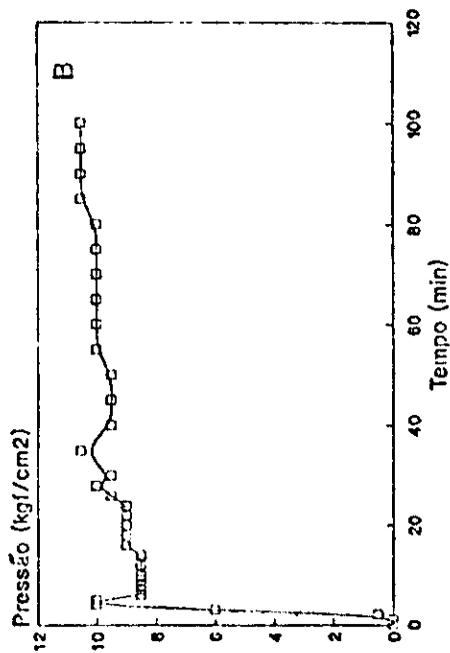
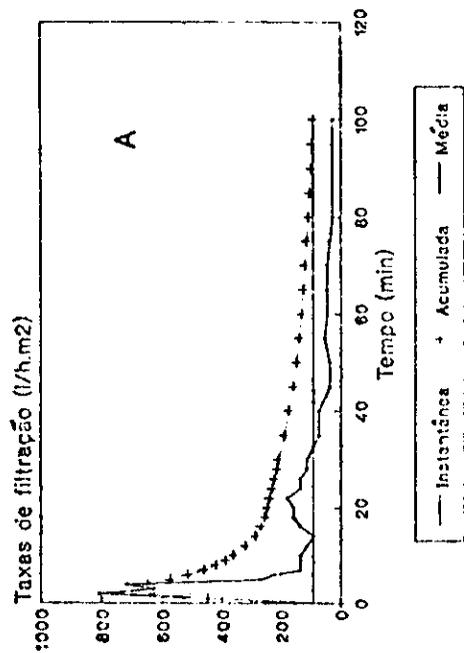


Figura 15 Taxas de filtração (quadro A) e pressão (quadro B) em função do tempo - Ensaio 30 (terceiro ensaio piloto).

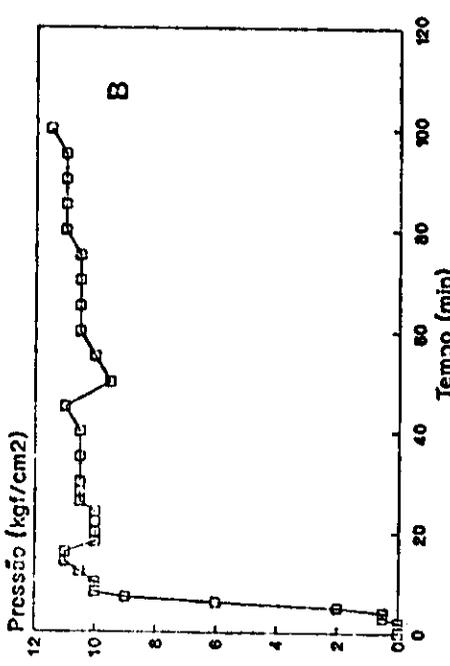
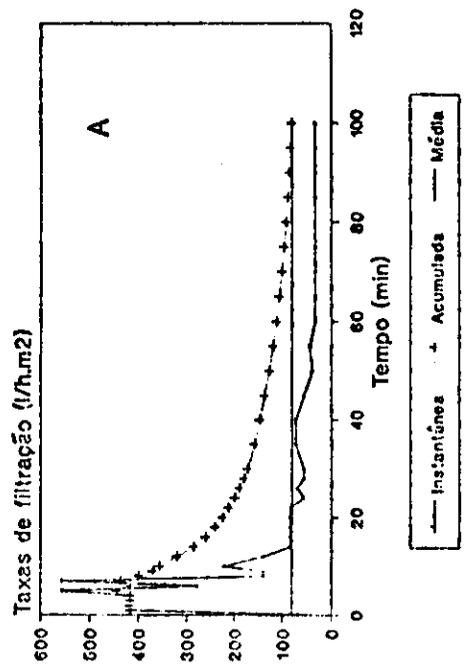


Figura 14 Taxas de filtração (quadro A) e pressão (quadro B) em função do tempo - Ensaio 29 (segundo ensaio piloto).