

Comparação da eficiência de amido de diversas fontes naturais, quando empregado como auxiliar de floculação de águas para abastecimento

José Roberto Campos*
Marta B. de Souza Vieira**
Livia M. Olmo Villela**

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados e conclusões de pesquisa realizada com o objetivo de verificar a viabilidade do emprego de amido de diversas fontes naturais como auxiliar de floculação de águas para abastecimento.

O amido utilizado nos ensaios de floculação foi pré-gelatinizado através de duas maneiras distintas, ou seja, alguns ensaios foram efetuados com amido pré-gelatinizado mediante aquecimento, e outros foram efetuados com amido pré-gelatinizado com adição de hidróxido de sódio, a frio.

Foi utilizado amido proveniente de cinco fontes naturais distintas, a saber: de batata, de milho, de mandioca, de araruta e de cará. Inicialmente também foi testado o amido de arroz, porém os resultados foram insatisfatórios.

Cada amido foi testado através de ensaios de floculação com quatro amostras distintas de água, que apresentavam diferentes características de cor, turbidez, pH e alcalinidade.

Para a análise de cada uma das amostras de água foi necessária a execução de aproximadamente 70 ensaios de floculação ("jar-test") com o objetivo de se conhecer as dosagens ótimas de sulfato de alumínio e de cal (quando necessária), e a dosagem mais conveniente de amido. Também foram realizados ensaios especiais com o objetivo de se verificar a influência do gradiente de velocidade na qualidade do sobrenadante. Portanto as conclusões apresentadas nesse trabalho foram concebidas com base nos resultados de cerca de 280 ensaios de floculação.

Essa pesquisa foi desenvolvida em laboratórios do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos — Universidade de São Paulo, e recebeu auxílio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processos n.º 80/1944-7 e n.º 80/

1943-0), o que tornou possível a realização da mesma.

1. INTRODUÇÃO

Um dos autores do presente trabalho desenvolveu anteriormente uma pesquisa acerca do emprego do amido de batata como auxiliar de floculação, fundamentada em ensaios de floculação em laboratório e em testes efetuados na Estação de Tratamento de Água da cidade de São Carlos (SP), Brasil, cujos resultados foram divulgados no XVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, realizado em La Paz, Bolívia, em 1980.

As conclusões desse estudo foram muito interessantes, demonstrando que existe a possibilidade de o amido ser empregado como auxiliar de floculação de águas para abastecimento, sob condições que o colocam em posição de competir, em determinadas situações, com os polímeros sintéticos de grande cadeia molecular utilizados para o mesmo fim.

Esses resultados serviram como base para a continuidade da pesquisa, através da realização de testes com amido proveniente de outras fontes naturais e também através da avaliação de resultados de ensaios de floculação empregando-se diferentes formas de obtenção da pré-gelatinização do amido testado.

O amido de batata, utilizado na pesquisa anterior, era pré-gelatinizado através de aquecimento de dispersão aquosa desse material. Essa operação, apesar de extremamente simples, pode constituir-se em tarefa adicional em uma estação de tratamento de água, fato esse que motivou a busca de forma alternativa para a realização da pré-gelatinização.

O aquecimento da dispersão aquosa de amido provoca a quebra dos grãos e a dissolução dos materiais que o compõem. Efeito semelhante é conseguido com a utilização de hidróxido de sódio, o que permite a obtenção da pré-gelatinização a frio; portanto sem a necessidade de qualquer equipamento adicional, quando a estação de tratamento já possui instalações para

utilização de qualquer tipo de polímero sintético comercial.

O trabalho desenvolvido permite comparar os resultados de ensaios de floculação efetuados com amido pré-gelatinizado através das duas maneiras mencionadas, ou seja, aquecimento da dispersão aquosa e mediante a adição de hidróxido de sódio, a frio.

Por outro lado, tendo em vista os excelentes resultados anteriores verificados com o amido de batata, era interessante a análise do comportamento do amido proveniente de outras fontes naturais. Assim sendo, foram programados ensaios de floculação empregando-se amido de milho, batata, araruta, cará e mandioca, com amostras de quatro grupos distintos de água, apresentando diferentes valores de cor, pH, turbidez e alcalinidade.

Também foi testado o amido de arroz, porém os resultados obtidos nos ensaios com as amostras de água estudadas não foram satisfatórios.

2. O AMIDO

Pode-se afirmar que o amido é um carboidrato altamente polimerizado, cujo monômero é representado pela glicose. O problema central da química do amido tem sido a determinação da natureza e do número de ligações entre as unidades constituídas pelos monômeros e a distribuição dessas ligações na estrutura do amido.

O amido, quando comparado com outros carboidratos, pode ser considerado relativamente heterogêneo, sendo constituído por dois componentes principais, a amilose e a amilopectina.

A amilose constitui-se de longas cadeias não ramificadas e a amilopectina, de cadeias ramificadas, ambas formadas por unidades de glicopiranose.

Com relação à estrutura molecular das frações que compõem o amido, a amilose apresenta-se na forma de cadeia linear formada por unidades de glicopiranose unidas por ligações α -1,4-dissacarídicas, e a amilopectina apresenta estrutura ramificada de unidades glicopiranose unidas por ligações semelhantes às encontradas na amilose, porém, em intervalos frequen-

* Professor junto ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
** Bolsistas da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

tes, uma unidade glicopiranoze, que normalmente estaria ligada a outras duas unidades formando uma cadeia linear (como na amilose), liga-se a uma terceira unidade, portanto dando origem a uma ramificação.

A amilose e a amilopectina apresentam propriedades bastante distintas, sendo as mais importantes citadas a seguir: a amilose é solúvel em água e é totalmente hidrolisada pela ação da β -amilase à maltose; a amilopectina é insolúvel em água e é hidrolisada apenas 54% sob a ação de β -amilase. A massa molecular das frações varia sensivelmente.

Em pesquisa realizada anteriormente por um dos autores do presente trabalho⁽¹⁾ verificou-se que em ensaios de floculação, a amilose apresenta características de polímero não iônico e a amilopectina possui características de polímero fracamente aniônico.

O estudo do amido abrange um campo muito complexo que ainda não foi totalmente explorado. Para o conhecimento profundo a respeito da estrutura do amido ainda haverá necessidade de serem desenvolvidos muitos trabalhos que venham a confirmar os conceitos até agora estabelecidos.

Uma propriedade que tem grande importância no emprego de amido como auxiliar de floculação é a quebra da estrutura do grão, resultando na gelatinização desse material.

A quebra da estrutura do grão, na presença de água aquecida, ocorre em três fases distintas. A primeira fase caracteriza-se pela ocorrência de apenas um entumescimento limitado e a viscosidade da dispersão não aumenta de maneira sensível. O grão conserva a mesma aparência de anteriormente e, depois de seco, não é possível notar nenhuma alteração grosseira. A segunda fase de entumescimento tem início quando ultrapassada a temperatura de 65°C, aproximadamente. Nessa fase o grão tem seu volume aumentado muitas vezes em relação ao seu volume original e a viscosidade da dispersão cresce sensivelmente; o grão perde agora sua estrutura inicial, enquanto que ocorre a solubilização de parte de seu conteúdo. Na terceira fase, em temperatura mais elevada, ocorre a evolução mais acentuada dos fenômenos verificados na segunda fase. O aquecimento provoca, nessa fase, a redução da viscosidade da dispersão.

Como foi mencionado anteriormente, a gelatinização do amido também pode ser obtida através da adição de solução concentrada de hidróxido de sódio, a uma dispersão desse material.

Para a realização do presente trabalho foram adquiridas amostras de amido de batata, de mandioca, de

arroz, de milho e de araruta na forma em que é encontrado no comércio, para alimentação.

O amido de cará foi extraído em laboratório devido à impossibilidade de sua obtenção no comércio, sendo o roteiro do processo de obtenção descrito a seguir:

- limpeza inicial e lavagem do tubérculo;
- trituração do material com auxílio de liquidificador, deixando o mesmo em funcionamento durante cerca de 40 minutos;
- filtração da suspensão aquosa através de um tecido fino (musselina);
- secagem do material filtrado em cápsulas de porcelana colocadas em estufa a 36°C, durante aproximadamente 72 horas;
- trituração do material seco, seguida de peneiramento de modo a se obter um pó muito fino, em condições de ser empregado nos ensaios de floculação.

3. METODOLOGIA

3.1. Ensaios de floculação

Os ensaios de floculação, para cada amostra de água, eram realizados de modo a caracterizar três etapas distintas.

A primeira etapa tinha como objetivo a determinação das dosagens ótimas de sulfato de alumínio e de cal (se necessária), e também da dosagem mais conveniente de cada amido testado.

Essa etapa era realizada através de ensaios de floculação nos quais eram observadas as seguintes condições:

- volume de cada reator: 2 mil ml;
 - gradiente de velocidade durante a mistura rápida: 500 s⁻¹;
 - tempo total de mistura rápida: 180 s;
 - gradiente de velocidade durante a floculação: 50 s⁻¹;
 - tempo total de floculação: 900 s;
 - tempo de decantação: 900 s;
 - profundidade de coleta da amostra do sobrenadante em cada reator: 0,10 m;
 - o hidróxido de cálcio era adicionado cerca de 60 s antes do início do ensaio, diretamente nos reatores e, durante esse tempo, a amostra era agitada de modo que o gradiente de velocidade resultava igual a 500 s⁻¹;
 - o sulfato de alumínio era adicionado no instante inicial de contagem do tempo de mistura;
 - o amido era adicionado 60 s após a adição de sulfato de alumínio.
- Após a determinação das dosagens ótimas de sulfato de alumínio e de cal (hidróxido de cálcio) eram realizados ensaios de floculação com estas

dosagens, porém com a adição do amido como auxiliar de floculação. No primeiro reator não era adicionado amido e nos outros reatores a dosagem de amido obedecia aos seguintes valores: 0,1 mg/l; 0,2 mg/l; 0,5 mg/l; 1,0 mg/l e 5,0 mg/l.

Como existe o interesse em se verificar as eventuais vantagens do emprego do amido no que se refere à redução do consumo de coagulantes primários, era realizado um outro ensaio, no qual eram empregadas as mesmas dosagens de amido dos ensaios anteriores, porém utilizando-se apenas 80% dos valores das dosagens ótimas de sulfato de alumínio e de cal, determinadas anteriormente.

A segunda etapa consistia de ensaios de floculação realizados sob as mesmas condições de controle já descritas, porém variando-se o tempo de sedimentação com o objetivo de se comparar os resultados de sedimentabilidade dos flocos, para as dosagens que ofereceram sobrenadante de melhor qualidade nos ensaios anteriores. Nesses ensaios, terminada a fase de floculação, eram coletadas amostras correspondentes aos seguintes valores de tempo de decantação: 1 min; 4 min; 7 min; 12 min; 20 min e 30 min. Com os resultados desses ensaios eram construídas curvas relacionando a razão T/T₀, ou seja, turbidez final (T) e turbidez inicial (T₀) com o tempo de decantação.

Na terceira etapa eram realizados ensaios de floculação nos quais eram fixados o tempo de floculação e o tempo de decantação, variando-se o gradiente de velocidade (floculação) desde 30 s⁻¹ até 140 s⁻¹. Esses ensaios tinham como objetivo o conhecimento do gradiente de velocidade mais adequado a cada amostra de água e aos produtos utilizados na floculação.

Evidentemente, o roteiro descrito era obedecido para cada amostra de água e para cada amido testado.

3.2 Amostras de água

A água utilizada na execução dos ensaios era coletada de uma das adutoras que alimentam a estação de tratamento de água da cidade de São Carlos - SP, Brasil.

Foram utilizadas amostras que apresentavam diferentes valores de cor, pH, turbidez e alcalinidade, com o objetivo de se obter resultados mais representativos.

A algumas amostras adicionava-se bicarbonato de sódio e/ou caulinita, com a finalidade de se elevar os valores da alcalinidade e/ou da turbidez das mesmas.

As amostras de água empregadas nessa pesquisa foram denominadas de ÁGUA I, ÁGUA II, ÁGUA III e ÁGUA

IV, conforme os valores de seus parâmetros mais característicos.

ÁGUA I: Essas amostras de água eram coletadas da referida adutora e eram empregadas nos ensaios sem qualquer modificação de suas características. Essas amostras apresentavam valores baixos de turbidez e de alcalinidade;

ÁGUA II: Para a realização dos ensaios desejava-se também dispor de amostras que apresentavam valores elevados de turbidez. Para "produzir" turbidez foi utilizada a caulinita (Kaolin K-3), da Fisher Scientific Company.

A preparação das amostras de ÁGUA II, seguia o seguinte roteiro:

- preparação de uma suspensão, obtida com a adição de 300,00 g de argila a 14,0 l de água deionizada;
- agitação da suspensão durante 2 (duas) horas;
- decantação durante período de 10 (dez) horas;
- sifonamento do volume da suspensão situado até 0,70 m do nível inicial da superfície líquida;
- adição de um volume dessa suspensão a amostras coletadas na referida adutora, de modo a se obter o valor desejado de turbidez.

ÁGUA III: Para a preparação de amostras de ÁGUA III, era utilizada a mesma fonte de coletas, sendo porém, empregado bicarbonato de sódio para "produzir" alcalinidade. Eram adicionadas quantidades convenientes de bicarbonato de sódio de modo a se obter o valor desejado de alcalinidade.

ÁGUA IV: Para a realização dos ensaios referentes a ÁGUA IV, as amostras também eram coletadas no mesmo local descrito anteriormente, e preparadas com o objetivo de se conseguir amostras de água com valores elevados de turbidez e de alcalinidade. Para "produzir" turbidez e alcalinidade, eram adicionadas argila e bicarbonato de sódio às amostras em questão, conforme descrito para as amostras de ÁGUA II e de ÁGUA III, respectivamente.

A Tabela 3.1 apresenta a variação dos principais parâmetros das amostras utilizadas nesse trabalho.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados mais importantes a respeito de cada uma das quatro amostras de água estudadas são apresentados separadamente, pois as amostras escolhidas apresentavam características muito diferentes que influíram de maneira decisiva nas condições da floculação, quando o amido era utilizado como auxiliar.

No total foram realizados aproximadamente 280 ensaios de floculação, porém serão destacados apenas os resultados dos ensaios nos quais foi verificada a sedimentabilidade dos flocos (segunda etapa, descrita em 3.1). Nestes ensaios era comparada a sedimentabilidade dos flocos resultantes da utilização das dosagens de coagulante primário e de auxiliar que ofereceram sobrenadante de melhores características, para cada amido testado e para cada amostra de água.

Com a finalidade de simplificar a apresentação dos resultados, foram adotadas as abreviações AGAF e AGAQ, significando, respectivamente: amido gelatinizado a frio, com a utilização de hidróxido de sódio; e amido gelatinizado a quente, através do aquecimento de dispersão aquosa.

ÁGUA I: As amostras classificadas como ÁGUA I apresentavam valores baixos de turbidez, de cor e de alcalinidade.

A utilização de amido de milho e de mandioca não influíram sensivelmente na qualidade do sobrenadante, quando se empregou o AGAF. No entanto, quando da utilização do amido de batata, de araruta e de cará, foi possível redução de 20% na dosagem de coagulante primário, obtendo-se, mesmo assim, sobrenadante de melhor qualidade do que com o uso de sulfato de alumínio e de cal, apenas.

Quando foi utilizado o AGAQ, os resultados obtidos foram ligeiramente melhores que aqueles correspondentes ao AGAF, quando empregado juntamente com sulfato de alumínio e cal nas suas dosagens ótimas, porém não foi constatada a possibilidade de re-

dução de 20% do consumo desses produtos.

Para as amostras da ÁGUA I, quando a pré-gelatinização foi efetuada com adição de hidróxido de sódio, foi constatada maior eficiência quando da utilização de amido de araruta, e, para o amido pré-gelatinizado por aquecimento, os melhores resultados foram verificados com o amido de araruta e de cará.

As figuras 4.1 e 4.2 permitem a observação dos resultados dos ensaios correspondentes a essas duas alternativas.

ÁGUA II: As amostras classificadas como ÁGUA II apresentavam valores elevados de cor e de turbidez, porém relativamente baixos de alcalinidade.

Os ensaios de floculação efetuados com o AGAF só apresentaram resultados favoráveis quando foram utilizados o amido de mandioca e o de milho, porém, sem dúvida, a eficiência do primeiro verificou-se sensivelmente superior à do segundo.

A figura 4.3 mostra a vantagem da utilização do amido da mandioca, mesmo no caso em que houve redução de 20% nas dosagens de sulfato de alumínio e de cal.

Quando do emprego de AGAQ, todos os resultados foram favoráveis, com exceção do amido de milho.

O amido que apresentou o melhor desempenho foi o amido de araruta.

A figura 4.4 apresenta curvas obtidas em ensaio de floculação com amido de araruta que demonstrou que os resultados da utilização desse material, juntamente com dosagens e coagulantes primários correspondentes a 80% de suas dosagens ótimas, oferecem sobrenadante de melhor qualidade do que no caso do emprego das dosagens ótimas associadas à adição de amido.

ÁGUA III: As amostras de ÁGUA III apresentavam valores baixos de turbidez e valores elevados de alcalinidade e de cor.

O amido gelatinizado com hidróxido de sódio não demonstrou vantagens quanto à sua utilização com vistas à melhoria sensível da qualidade do sobrenadante, porém evidenciou a possibilidade de redução do consumo de coagulante primário, justificando seu emprego, nesse caso, apenas como meio de se reduzirem os gastos com sulfato de alumínio.

A figura 4.5 mostra resultados obtidos com amido de batata, cujas curvas podem ser consideradas típicas também para o amido das outras fontes.

Quando se utilizou o AGAQ, foi constatado ser possível redução de 20% no consumo de coagulante primário e, ainda assim, com obtenção de sobrenadante de melhor qualidade que aquela verificada quando da utilização de coagulante apenas, ou mes-

Tabela 3.1 — Características das amostras empregadas nos ensaios de floculação

PARÂMETRO AMOSTRA	pH	Turbidez (UT)	Alcalinidade (mg/ em CaCO ₃)	Cor (mg/ em Pt-Co)
ÁGUA I	6,20 a 6,50	6,5 a 8,9	8,8 a 9,0	20 a 40
ÁGUA II	5,70 a 6,40	110,0 a 150,0	3,3 a 14,6	>70
ÁGUA III	6,86 a 7,00	15,0 a 39,0	65,1 a 82,5	>70
ÁGUA IV	6,53 a 7,37	124,0 a 140,0	74,8 a 87,5	>70

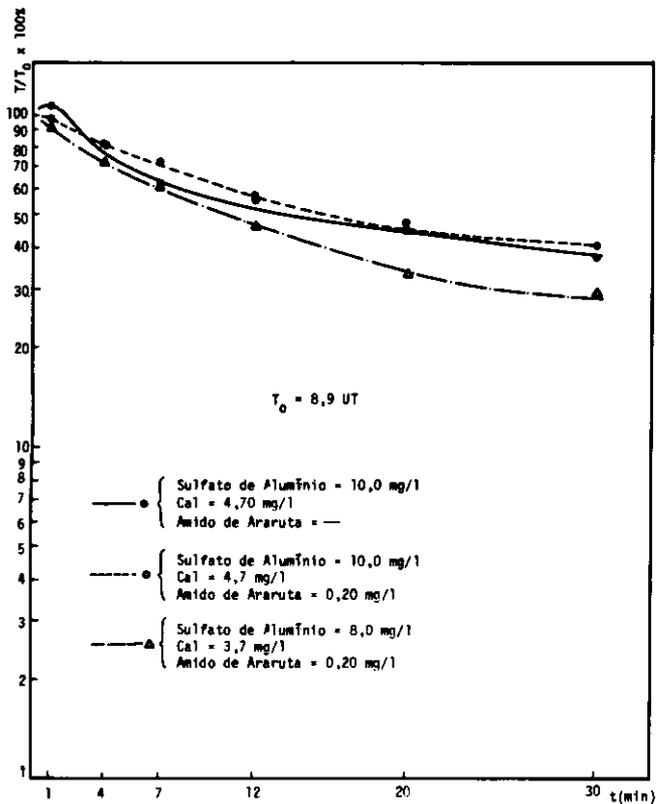


Figura 4.1 — Curvas de sedimentabilidade: amido de araruta gelatinizado com hidróxido de sódio. AGUA I.

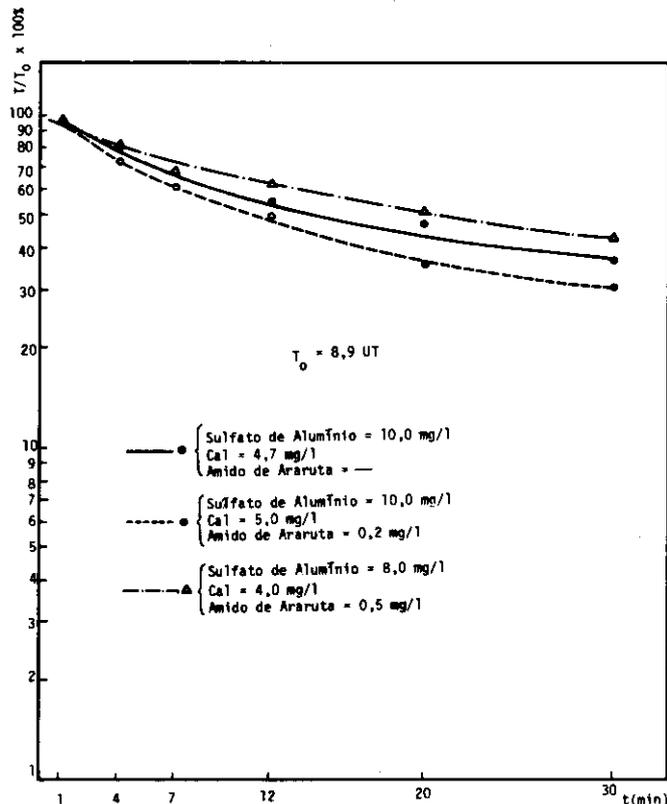


Figura 4.2 — Curvas de sedimentabilidade: amido de araruta, gelatinizado a quente. AGUA I.

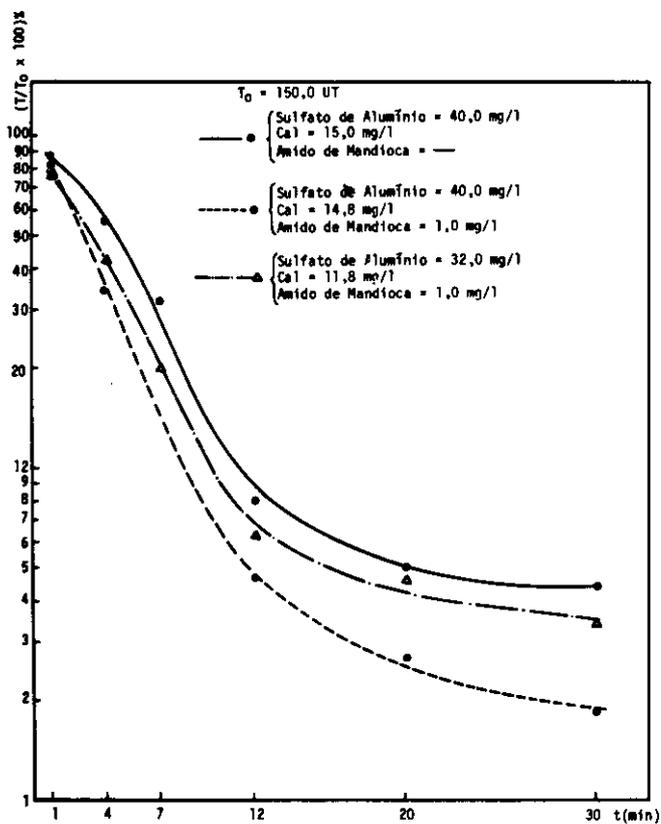


Figura 4.3 — Curvas de sedimentabilidade: amido de mandioca gelatinizado com hidróxido de sódio. AGUA II.

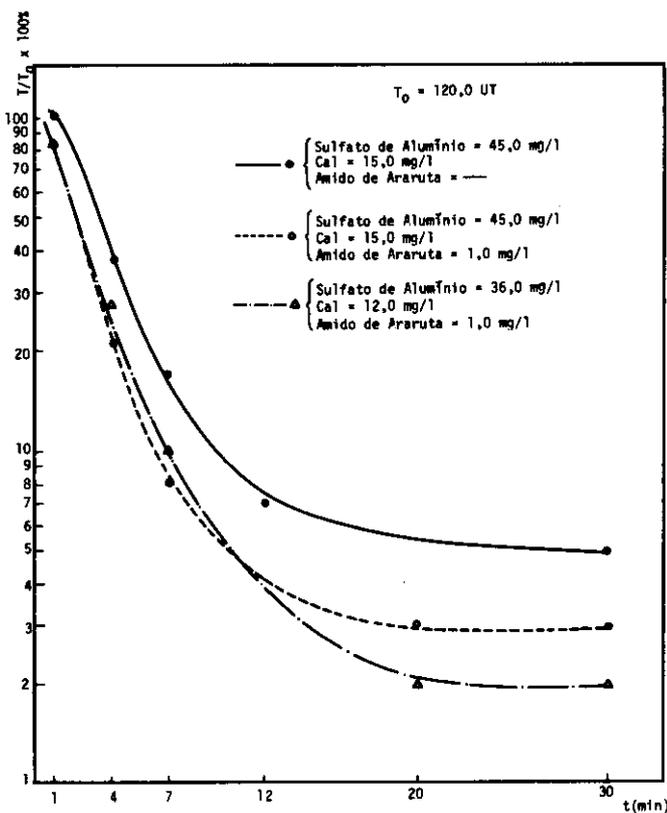


Figura 4.4 — Curvas de sedimentabilidade: amido de araruta gelatinizado a quente. AGUA II.

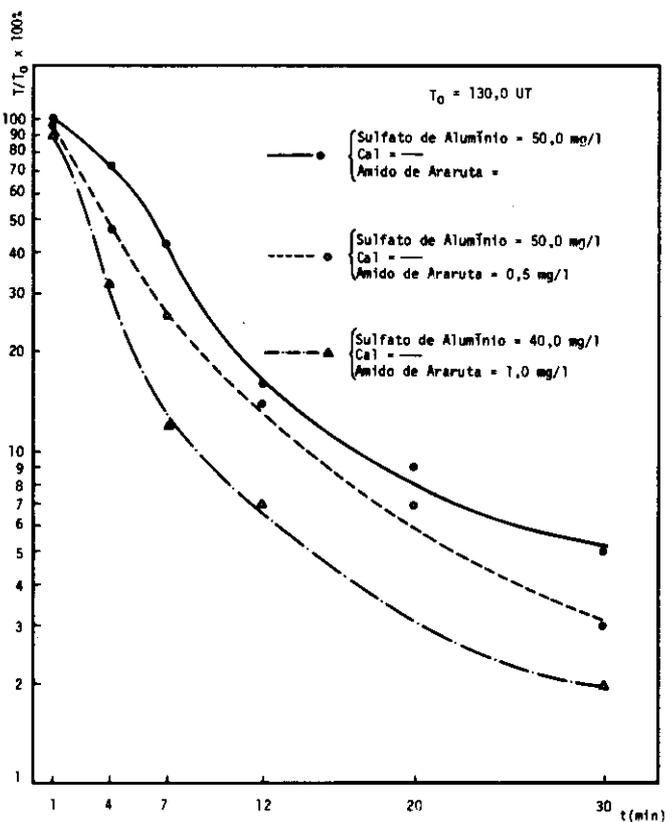
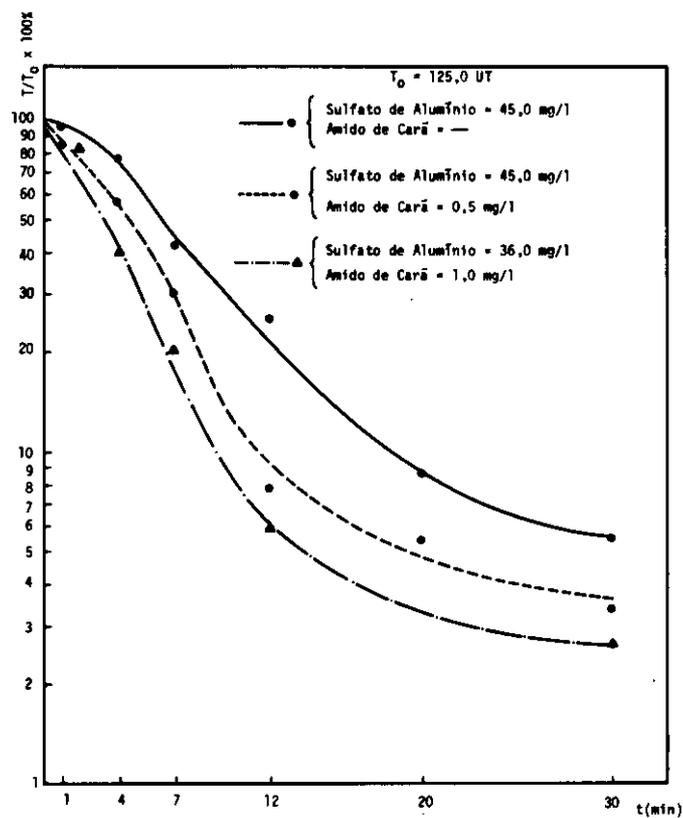
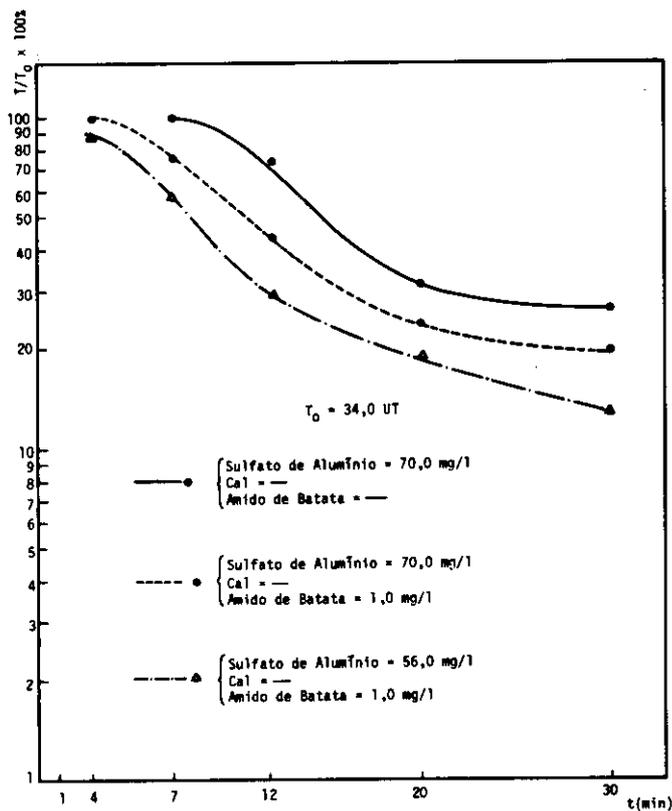
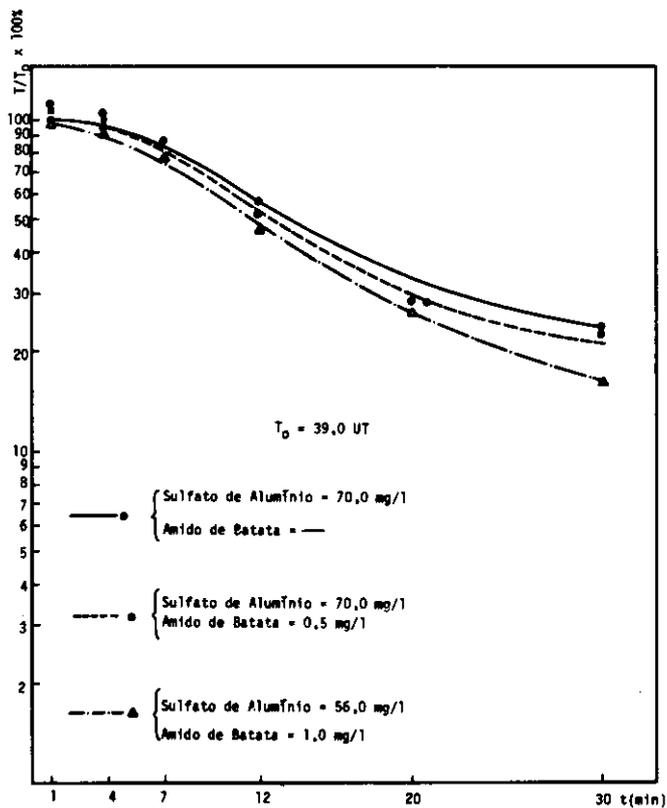


Tabela 4.1 — Resumo dos melhores resultados

AMOSTRAS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS			MELHORES RESULTADOS	
	Turbidez (UT)	Cor (mg/ℓ em Pt-Co)	Alcalinidade (mg/ℓ em CaCO ₃)	AGAF	AGAQ
ÁGUA I	6,5 a 8,9	20 a 40	8,8 a 9,0	Araruta	Carã e Araruta
ÁGUA II	110,0 a 150,0	70	3,3 a 14,6	Milho e Mandioca	Carã, Araruta, Mandioca e Batata
ÁGUA III	15,0 a 39,0	70	65,1 a 82,5	Batata e Milho	Batata e Araruta
ÁGUA IV	124,0 a 140,0	70	74,8 a 87,5	Carã e Araruta	Carã e Araruta

mo quando da utilização da dosagem ótima de coagulante primário com a dosagem escolhida do referido amido.

Na figura 4.6 são mostradas curvas obtidas para o amido de batata.

ÁGUA IV: As amostras de ÁGUA IV apresentavam valores elevados de turbidez, de cor e de alcalinidade.

Para essas amostras o amido de todas as fontes ofereceu bons resultados. Em geral, conseguiu-se redução de 20% no consumo de sulfato de alumínio e a qualidade do sobrenadante, ainda assim, resultou melhor ou igual àquela apresentada quando da utilização de coagulante primário apenas, ou quando da utilização da dosagem ótima de coagulante primário com a dosagem escolhida de amido.

Os melhores resultados correspondentes ao AGAF foram obtidos com o emprego de amido de carã e de araruta.

Quando se utilizou o AGAQ, os resultados foram ligeiramente melhores. Também nesse caso o melhor desempenho foi obtido com o amido de carã e de araruta.

As figuras 4.7 e 4.8 mostram curvas de sedimentabilidade referentes a ensaios nos quais foi empregado o amido de carã (AGAF) e de araruta (AGAQ).

A Tabela 4.1 destaca as fontes cujo amido apresentou os melhores resultados para as amostras de água estudadas.

Os resultados correspondentes aos ensaios compreendidos na terceira etapa (descrito em 3.1) dos testes efetuados com cada amostra de água e com cada amido demonstraram que, de maneira geral, o gradiente ótimo para a floculação da água, apenas com o emprego de sulfato de alumínio e de cal, é aproximadamente igual ao gradiente ótimo verificado no caso da utilização do amido como auxiliar, para a mesma água.

5. CONCLUSÕES

— O amido pré-gelatinizado a frio, através do emprego de hidróxido de sódio, e o amido pré-gelatinizado através de aquecimento de dispersão aquosa apresentam possibilidades de serem utilizados como auxiliares de floculação;

— Para as amostras de água estudadas, geralmente o amido pré-gelatinizado através de aquecimento apresentou resultados ligeiramente melhores que os do amido pré-gelatinizado a frio. Tendo em vista, porém, as

maiores facilidades para se efetuar a pré-gelatinização a frio, essa alternativa sempre deve ser considerada em avaliações práticas em estações de tratamento de água;

— Considerando-se as amostras testadas, sempre foi possível a escolha de amido de alguma fonte que tornasse viável a utilização desse polímero natural como auxiliar de floculação. Esse fato leva a crer que em pesquisas a serem realizadas com o objetivo de verificar a aplicabilidade de amido como auxiliar de floculação em estações de tratamento de água deve ser testado amido de todas as fontes disponíveis na região, para a escolha da alternativa que ofereça melhores resultados técnicos e econômicos;

— De maneira geral, os resultados acerca da utilização do amido como auxiliar de floculação demonstram que há maior possibilidade de sucesso do emprego dessa técnica no tratamento de águas que apresentam características semelhantes às da ÁGUA II e ÁGUA IV, ambas com valores de turbidez relativamente elevados. Esse fato, porém, não elimina a possibilidade de seu emprego para águas semelhantes às outras amostras testadas (ÁGUA I e ÁGUA III), principalmente no que se refere à redução de gastos com coagulantes primários;

— Aparentemente, a eficiência do amido como auxiliar de floculação está muito mais relacionada com os valores de turbidez do que com os valores de alcalinidade da água em questão;

— Em alguns ensaios foi verificado que a utilização do amido permitiu a redução da cor do sobrenadante, em relação à cor que ocorria quando o mesmo não era usado como auxiliar;

— O gradiente de velocidade ótimo para floculação, empregando amido como auxiliar, é aproximadamente igual ao gradiente ótimo para a floculação da mesma água, quando são utilizados apenas sulfato de alumínio e cal. Essa informação permite concluir que, em estações de tratamento de água em que os valores de gradiente de velocidade nas câmaras de floculação são apropriados para o tratamento com sulfato de alumínio e cal, não há necessidade de ser efetuada qualquer alteração nos mesmos, caso se desejar empregar amido como auxiliar.

6. BIBLIOGRAFIA

- (1) CAMPOS, J. Roberto — Emprego do amido de batata como auxiliar de floculação de águas para abastecimento. São Carlos, SP, Brasil, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1980, 179 págs. (Tese Doutorado).