

Flotação do minério fósforo-uranífero de Itataia

José Aury de Aquino, MSc *

1. INTRODUÇÃO
2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA
3. MATERIAIS E MÉTODOS
4. TRABALHO EXPERIMENTAL
5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS
6. CONCLUSÕES

* Engenheiro Químico do Depto. de
Tecnologia Mineral, do Centro de
Desenvolvimento da Tecnologia
Nuclear da NUCLEBRÁS



Resumo

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estabelecer as condições de flotação, em escala de laboratório e piloto, para uma amostra do minério fosfóro-uranífero de Itataia, constituída basicamente de apatita e calcita.

Os estudos de laboratório constaram de otimização das principais variáveis de flotação e do sistema de reagentes "tall

oil", collamil e silicato de sódio nas etapas "rougher", "scavenger" e "cleaner". Em escala piloto foram realizados testes objetivando testar o fluxograma e as condições propostas pelo estudo de laboratório.

A otimização das condições de flotação, em laboratório, permitiu a obtenção de concentrados em teores e recuperação de P_2O_5 de 29,3% e 73,5% respectivamente. Nos ensaios em escala piloto foram obtidos concentrados com teores de 28,4% P_2O_5 e recuperações de 76,7% P_2O_5 .

1. Introdução

O minério da região de Itataia-Ceará de propriedade da Nuclebrás - Empresas Nucleares Brasileiras S.A. apresenta elevado teor de urânio associado à rocha fosfática.

Para recuperação do urânio faz-se necessária a concentração física deste minério, composto essencialmente de apatita (com urânio associado) e calcita, à níveis compatíveis com os processos de produção de ácido fosfórico.

São apresentados neste trabalho estudos de concentração por flotação, realizados com amostras do referido minério, visando obtenção de concentrado fosfático com teor da ordem de 30% em P_2O_5 .

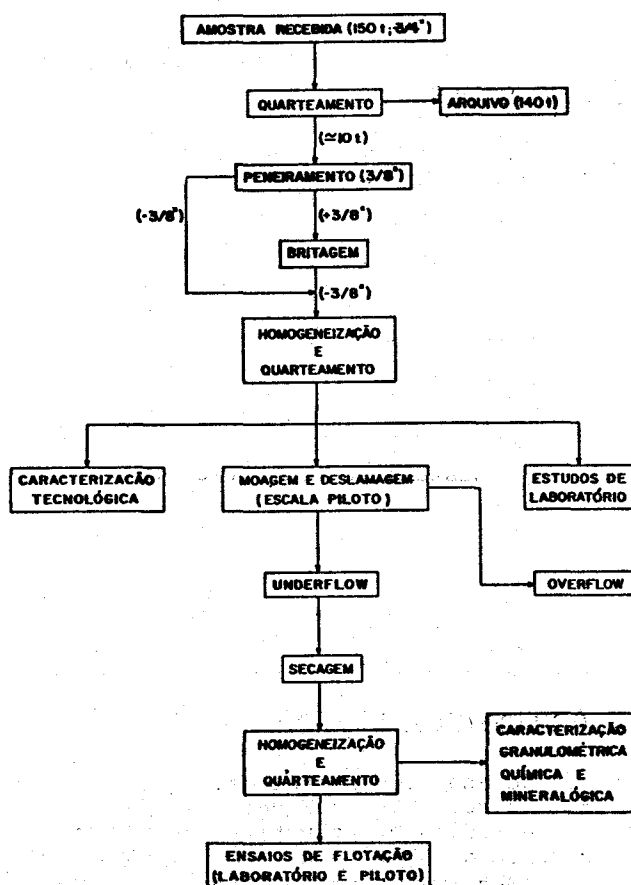
Estes estudos constaram da otimização das principais variáveis de flotação para o sistema de reagentes "tall oil", collamil e silicato de sódio e foram realizados em escalas de laboratório e piloto.

2. Caracterização da amostra

2.1. Preparação da amostra

Para realização deste estudo as amostras foram preparadas a partir de 150 toneladas de minério, através de moagem e deslamagem em escala piloto. O fluxograma que ilustra a preparação destas amostras está apresentado na Fig.1.

FIGURA 1 - Fluxograma utilizado na preparação das amostras



2.2. Análise granulométrica

A granulometria do material deslamado está compreendida entre 65 malhas e 10 μ m, e foi determinada através de análise granulométrica por peneiramento e pipeta de Andreasen. Esta distribuição está apresentada na Tab.I.

TABELA I - Análise granulométrica

| PENEIRA (MALHAS) | ABERTURA (μ m) | % PESO | % ACUMULADA | |
|---------------------|------------------------|--------|-------------|----------|
| | | | RETIDA | PASSANTE |
| 48 | 297,0 | 0,6 | 0,6 | 99,4 |
| 65 | 210,0 | 1,0 | 1,6 | 98,4 |
| 100 | 149,0 | 7,8 | 9,4 | 90,6 |
| 150 | 105,0 | 15,6 | 25,0 | 75,0 |
| 200 | 74,0 | 13,6 | 38,6 | 61,4 |
| 270 | 53,0 | 24,0 | 62,6 | 37,4 |
| 325 | 44,0 | 6,0 | 68,6 | 31,4 |
| 400 | 37,0 | 7,1 | 75,7 | 24,3 |
| - | 27,1 | 6,0 | 81,7 | 18,3 |
| - | 19,0 | 7,3 | 89,0 | 11,0 |
| - | 13,3 | 5,7 | 94,7 | 5,3 |
| - | 9,3 | 2,9 | 97,6 | 2,4 |
| - | <9,3 | 2,4 | 100,0 | - |
| ALIMENTAÇÃO | - | 100,0 | - | - |

2.3. Análise química

Na Tab.II está apresentada a composição química da alimentação da flotação. Determinou-se o teor de P₂O₅, nesta amostra, como sendo 16,1%.

TABELA II - Análise química quantitativa

| COMPOSTO | TEOR (%) |
|--------------------------------|----------|
| P ₂ O ₅ | 16,1 |
| U ₃ O ₈ | 0,116 |
| CaO | 34,6 |
| MgO | 1,30 |
| Al ₂ O ₃ | 5,00 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,13 |
| SiO ₂ | 17,8 |

2.4. Análise mineralógica

Através de análise mineralógica quantitativa em lâminas delgadas, foi determinado que a amostra estudada era constituída, basicamente de apatita e calcita. Na Tab.III tem-se a sua composição mineralógica completa.

TABELA III - Composição mineralógica

| MINERAL | TEOR (%) |
|-----------------|----------|
| APATITA | 40 |
| CALCITA | 31 |
| GOETHITA | 7 |
| ARGILA/SERICITA | 6 |
| FELDSPATO | 5 |
| MICA | 5 |
| QUARTZO | 4 |
| GRAFITA | 1 |
| OUTROS | 1 |

3. Materiais e métodos

3.1. Reagentes

Os reagentes utilizados neste trabalho foram de marca comercial e com as seguintes especificações:

- "TALL OIL" - Tipo Liacid 2915; Fabricante: Miracema-Nuodex S/A
- COLLAMIL - Fabricante: Refinações de Milho Brasil Ltda
- SILICATO DE SÓDIO - Relação SiO₂:Na₂O= 2,50

O ajuste do pH foi realizado com solução de ácido sulfúrico ou hidróxido de sódio.

3.2. Métodos de análise

Para realização deste trabalho foram utilizados os seguintes métodos de análises químicas:

- Via Úmida - Análise da alimentação da flotação
- Fluorescência de Raios-X - Análise de P₂O₅
- Neutrons Retardados - Análise de U₃O₈

4. Trabalho experimental

4.1. Metodologia

O estudo de flotação foi realizado com material reduzido abaixo de 65 malhas em moinho de barras (16x32") e deslamado em 10 μ m utilizando um ciclone de 2 1/2". O material era coletado no "underflow" do ciclone e secado para realização dos estudos de laboratório e piloto.

Os testes de laboratório foram realizados com amostras de 2kg, condicionadas e flotadas, em uma célula Denver "sub-A" Mod. D-12, com controlador de nível de polpa e raspador mecânico para coleta do material flotado.

Os testes piloto foram realizados através de alimentação contínua do material ("underflow" do ciclone) seco em um recipiente para preparação da polpa na concentração desejada de condicionamento. Esta alimentava um condicionador onde adicionava-se soda como regulador de pH, collamil e silicato de sódio como

depressores dos minerais de ganga. Após o condicionamento a polpa era diluída e alimentava o circuito de flotação com adição de coletor nas etapas "rougher" e "scavenger".

4.2. Execução dos ensaios

4.2.1 Laboratório

O estudo de laboratório compreendeu as etapas "rougher", "scavenger" e "cleaner", e foi realizado testando as variáveis apresentadas na Tab.IV. O procedimento adotado no estudo destas variáveis foi alterar, em cada teste, uma variável e manter as outras fixas.

TABELA IV - Variáveis estudadas

| VARIÁVEL | E T A P A | | |
|--|------------|-------------|------------|
| | "ROUGHER" | "SCAVENGER" | "CLEANER" |
| Quantidade de Tall Oil (g/t) | 200 a 600 | 53 a 140 | - |
| Quantidade de Collamil (g/t) | 0 a 400 | - | 0 a 162,5 |
| Quantidade de Silicato de Sódio (g/t) | 0 a 400 | - | - |
| pH de Condicionamento dos depressores | 8,1 a 11,0 | - | - |
| % Sólidos no condicionamento dos depressores | 30 a 60 | - | - |
| % Sólidos na flotação | 10 a 40 | - | - |
| Tempo de condicionamento dos depressores (min) | 2 a 20 | - | - |
| Tempo de condicionamento do coletor (min) | 0,5 a 10 | - | - |
| Tempo de flotação (seg) | 15 a 240 | - | - |
| pH de flotação | - | 8,0 a 11,5 | 7,0 a 11,0 |

a) Flotação "Rougher"

A etapa de flotação "rougher" foi realizada objetivando altas recuperações de P_2O_5 e U_3O_8 . Nesta etapa foram estudadas as variáveis: quantidade de coletor, quantidade dos depressores (collamil e silicato de sódio), pH e percentagem de sólidos no condicionamento dos depressores, percentagem de sólidos na flotação, tempo de condicionamento dos depressores e do coletor, e tempo de flotação.

Foi utilizado como coletor da apatita um ácido graxo do tipo "tall oil" preparado por saponificação com hidróxido de sódio. Como depressor da ganga carbonática foi utilizado um amido de milho do tipo collamil preparado por gelatinização a frio com hidróxido de sódio. Para cada dosagem de collamil foram testadas várias quantidades de "tall oil".

Verificou-se também a influência do silicato de sódio como depressor dos minerais silicatados. Com relação à variável tempo de flotação, foram realizados ensaios com coleta dos concentrados, separadamente, em 15; 30; 45; 60; 90; 120; 180 e 240 segundos.

b) Flotação "Scavenger"

A flotação "scavenger" foi realizada com o objetivo de aumentar as recuperações de P_2O_5 e U_3O_8 e consequentemente reduzir os seus teores no rejeito final. Nesta etapa foram estudadas as variáveis: quantidade de coletor e pH de flotação. A quantidade de coletor foi calculada em relação a massa de minério alimentado na etapa "rougher".

c) Flotação "Cleaner"

A flotação "cleaner" foi realizada visando obtenção de concentrado fosfático com teor da ordem de 30% em P_2O_5 .

Como a ganga do concentrado "rougher" é constituída basicamente de calcita, foram realizados testes com diferentes quantidades de collamil. Foi também verificada a influência do pH nesta etapa de flotação.

As etapas de flotação "scavenger" e "cleaner" foram realizadas utilizando as melhores condições na etapa "rougher".

d) Adição Estagiada do Coletor na Etapa "Rougher"

No estudo de flotação "cleaner" não foi conseguido um aumento significativo do teor de P_2O_5 do concentrado "rougher". Em virtude disto objetivou-se obter um concentrado da etapa "rougher" com alto teor de P_2O_5 . Este concentrado, obtido então na etapa "rougher-1", compunha o concentrado final, enquanto seu respectivo rejeito alimentava uma segunda etapa "rougher" ("rougher-2"), que produzia um concentrado e um rejeito para alimentação das etapas "cleaner" e "scavenger", respectivamente.

Os testes foram realizados com diferentes tempos de flotação e com adição estagiada de 400 g/t de "tall oil" distribuídos na primeira e segunda etapas "rougher", nas seguintes proporções: 280/120; 240/160; 200/200; 160/240 e 120/280 g/t. Esta distribuição de coletor foi testada mantendo o tempo total de flotação em 3,0 minutos, porém com os tempos de 1,0; 1,5; 2,0 e 2,0; 1,5 e 1,0 minutos na primeira e segunda etapas "rougher", respectivamente.

4.2.2 Escala Piloto

Foram realizados três testes em escala piloto visando testar o fluxograma e as condições propostas pelo estudo de laboratório.

O primeiro teste teve como objetivo estudar a quantidade de "tall oil" no "rougher-1"; como a adição de 200 g/t, proposta pelo estudo de laboratório, não permitiu a obtenção de recuperações significativas de P_2O_5 e U_3O_8 foram realizados ensaios com 188,0; 235; 294; 353; 423 g/t, optando-se por uma dosagem de 294 g/t de "tall oil" como sendo a mais adequada.

No segundo teste foi mantida a adição de 294 g/t de "tall oil" no "rougher-1" e

testou-se 123 e 236 g/t no "rougher-2" e "scavenger", respectivamente. Neste teste foi eliminado o terceiro "cleaner".

O terceiro teste foi realizado aumentando quantidade de "tall oil" no "rougher-2" para 194,5 g/t e mantendo a dosagem do teste anterior no "scavenger".

5. Resultados experimentais

Os resultados obtidos neste trabalho referem-se ao comportamento do minério fósforo-uranífero de Itataia nas etapas

"rougher", "scavenger" e "cleaner" em escalas de laboratório e piloto.

5.1. Laboratório

Nas Figs. 2 a 10 estão apresentados os resultados obtidos no estudo das variáveis da etapa "rougher" apresentadas na Tab.IV. As Figs. 11 e 12 mostram os resultados dos ensaios realizados com adição estagiada de "tall oil" na etapa "rougher". Nestas figuras (11 e 12) estão apresentados os resultados obtidos para P_2O_5 , na primeira etapa "rougher" ("rougher-1") e nas duas etapas juntas ("rougher-1" + "rougher-2").

Figura 2 - Efeito da quantidade de tall oil, sobre a recuperação de P_2O_5 , para diferentes quantidades de collamil

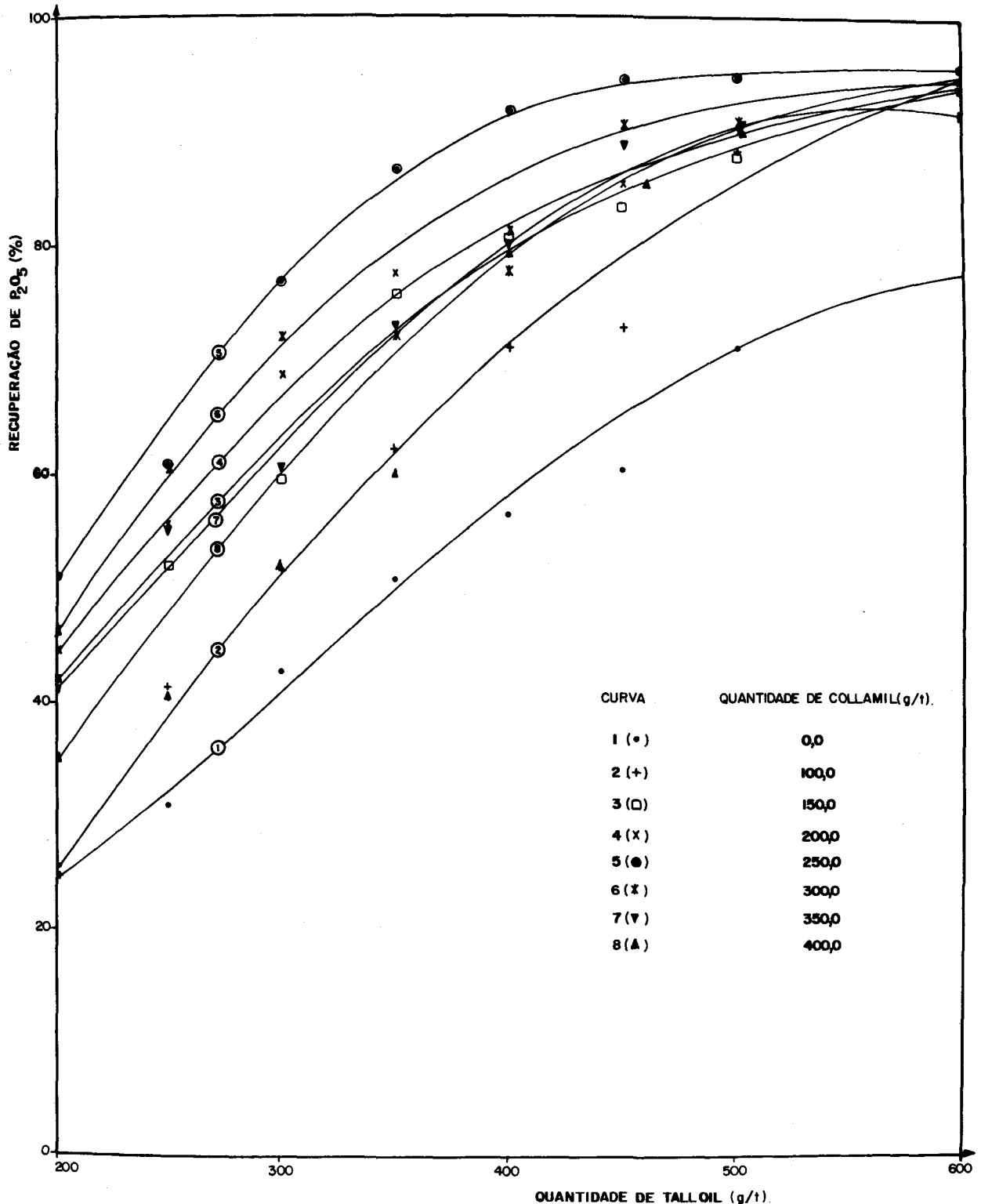


Figura 3 - Efeito da quantidade de collamil, sobre a recuperação de P_2O_5 , para diferentes quantidades de tall oil

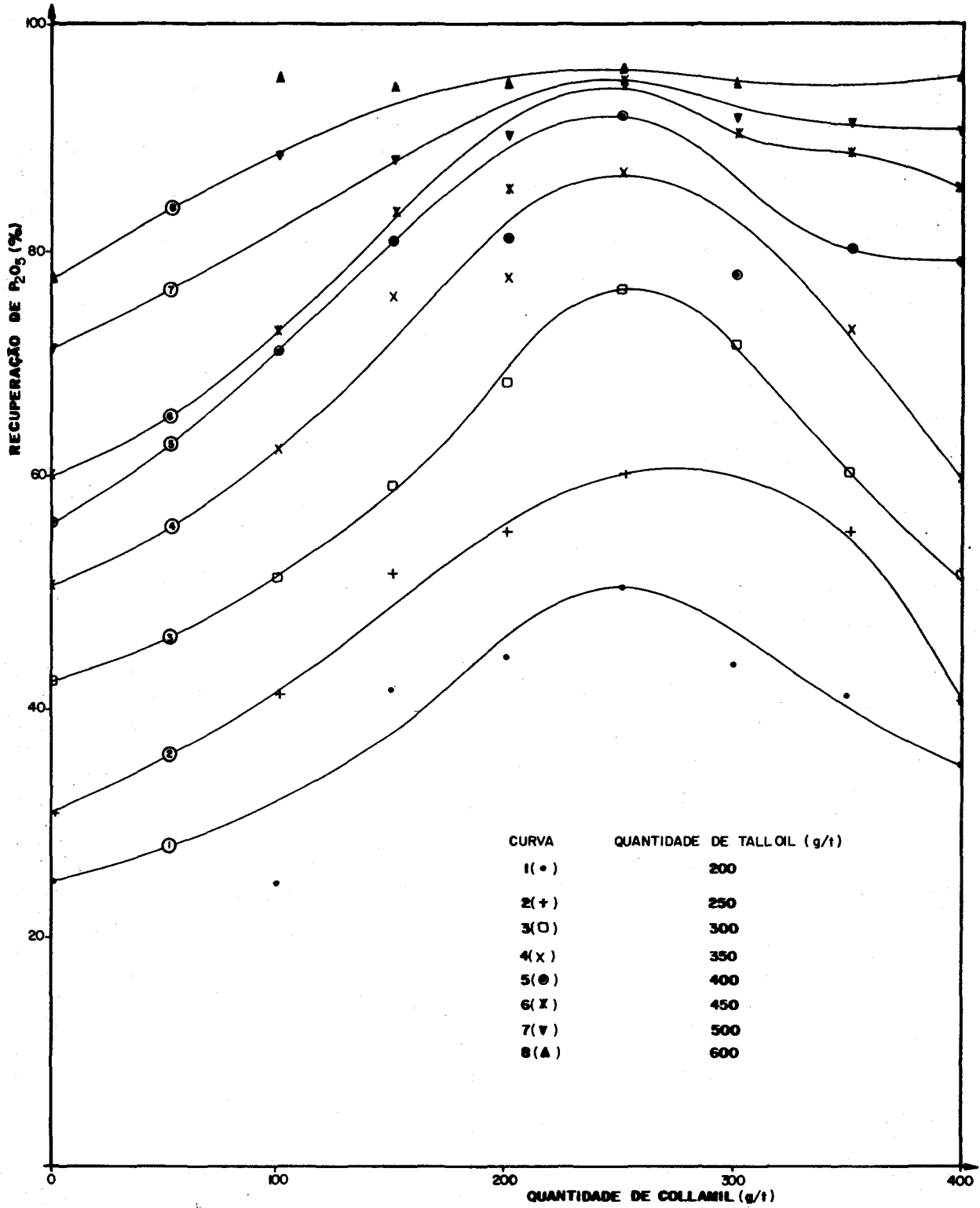


Figura 4 - Efeito da quantidade de silicato de sódio sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e de material flotado

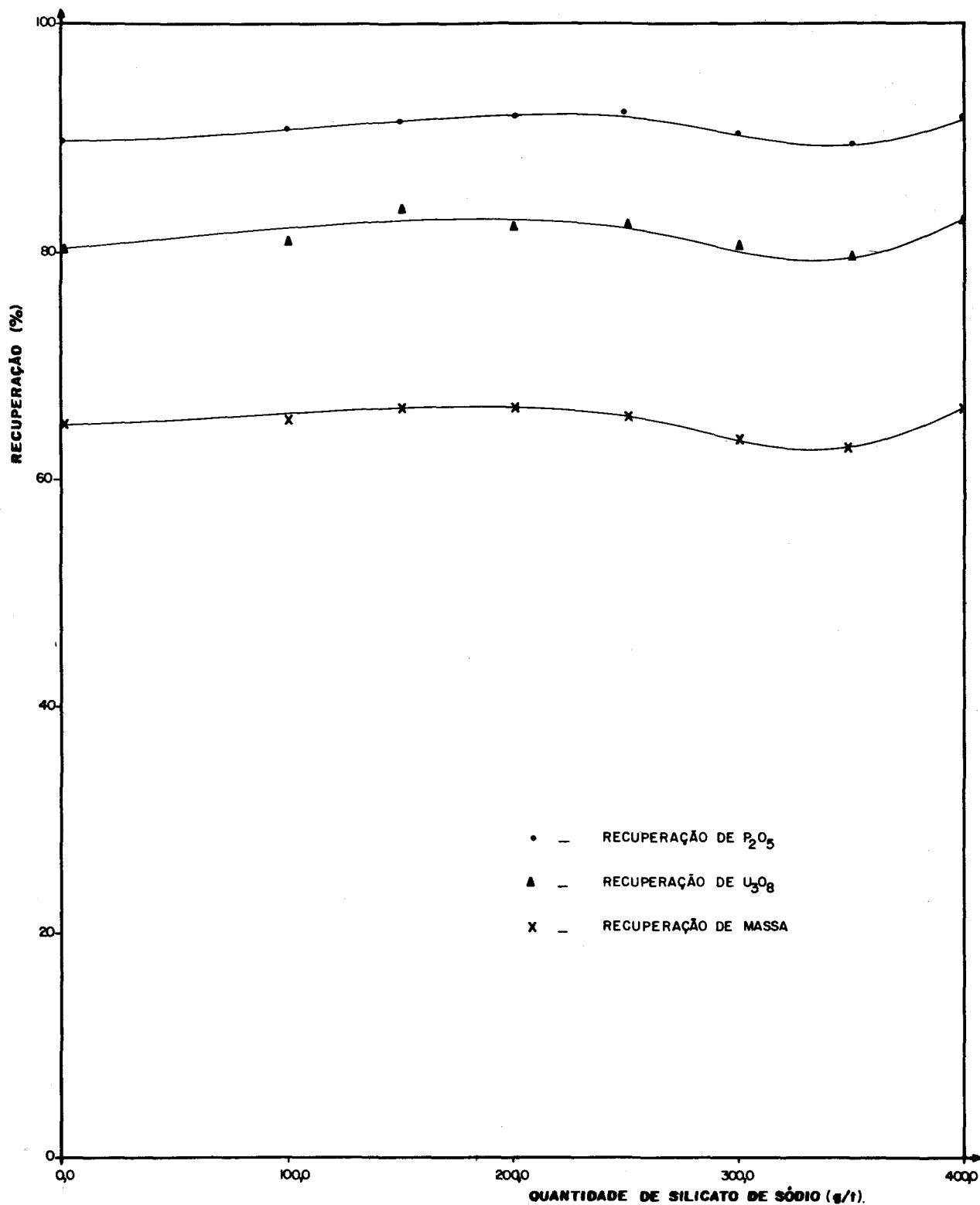


Figura 5 - Efeito do pH de condicionamento dos depressores sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e de material flotado

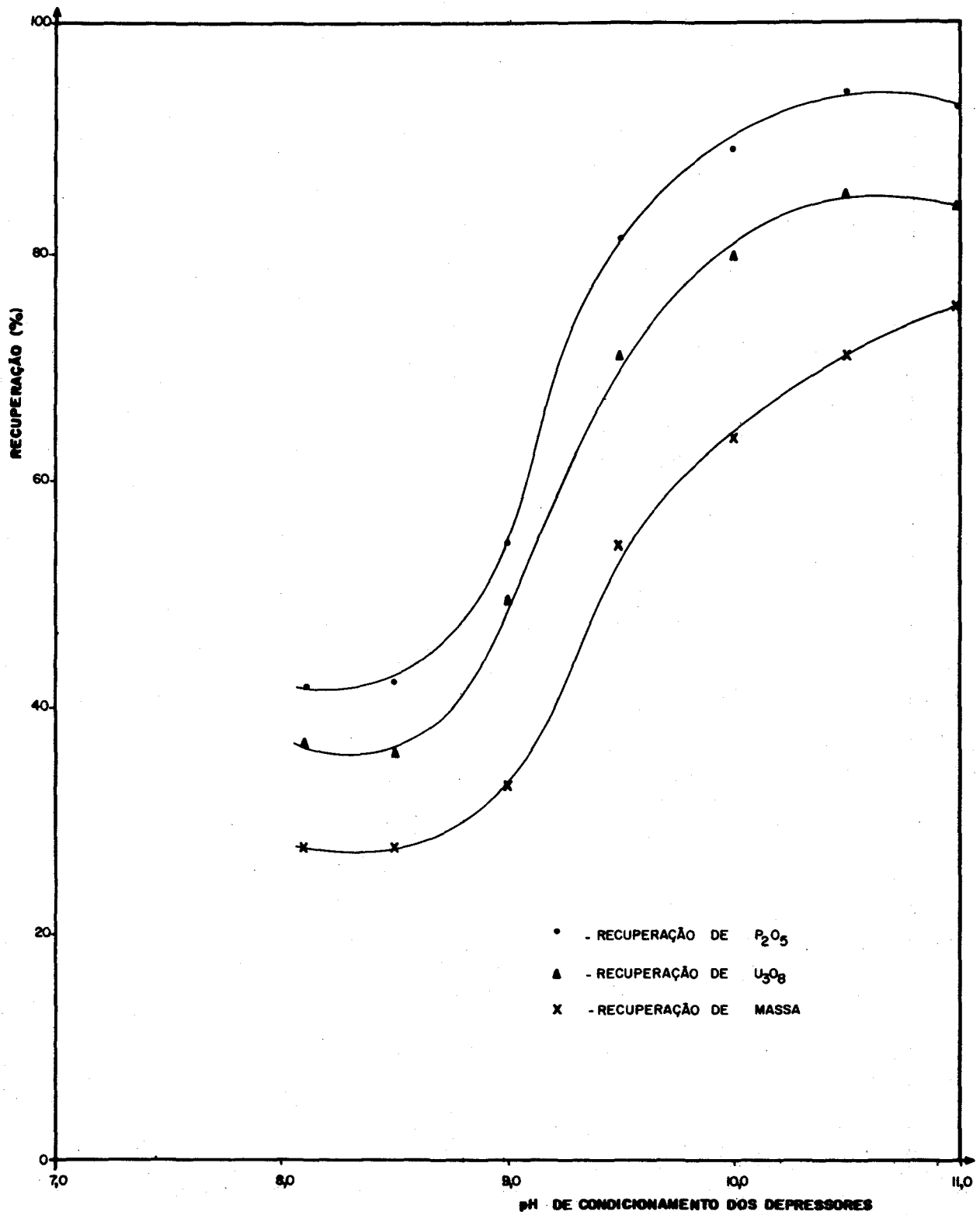


Figura 6 - Efeito da concentração de sólidos no condicionamento dos depressores sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e de material flotado

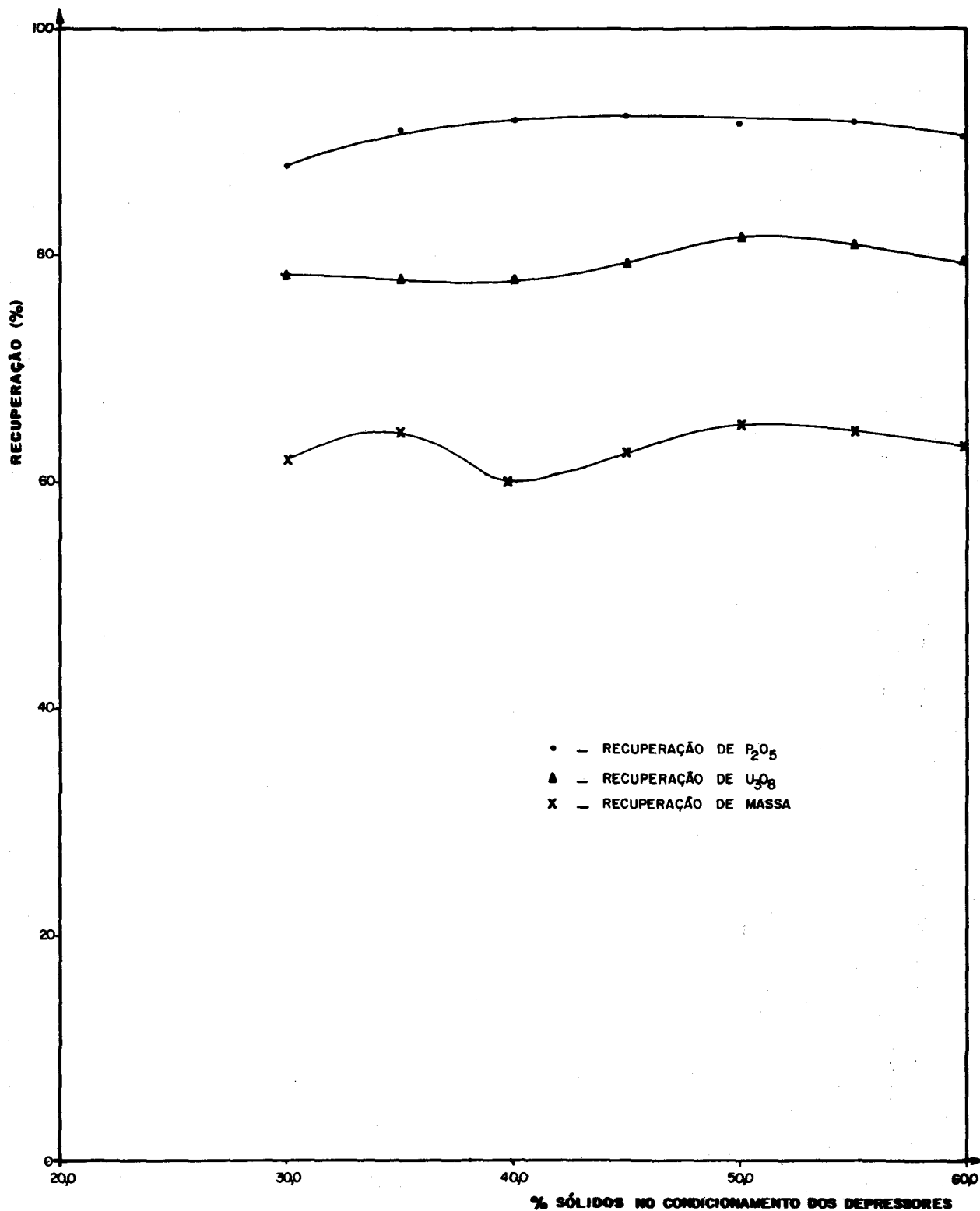


Figura 7 - Efeito da concentração de sólidos na flotação "Rougher" sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e de material flotado

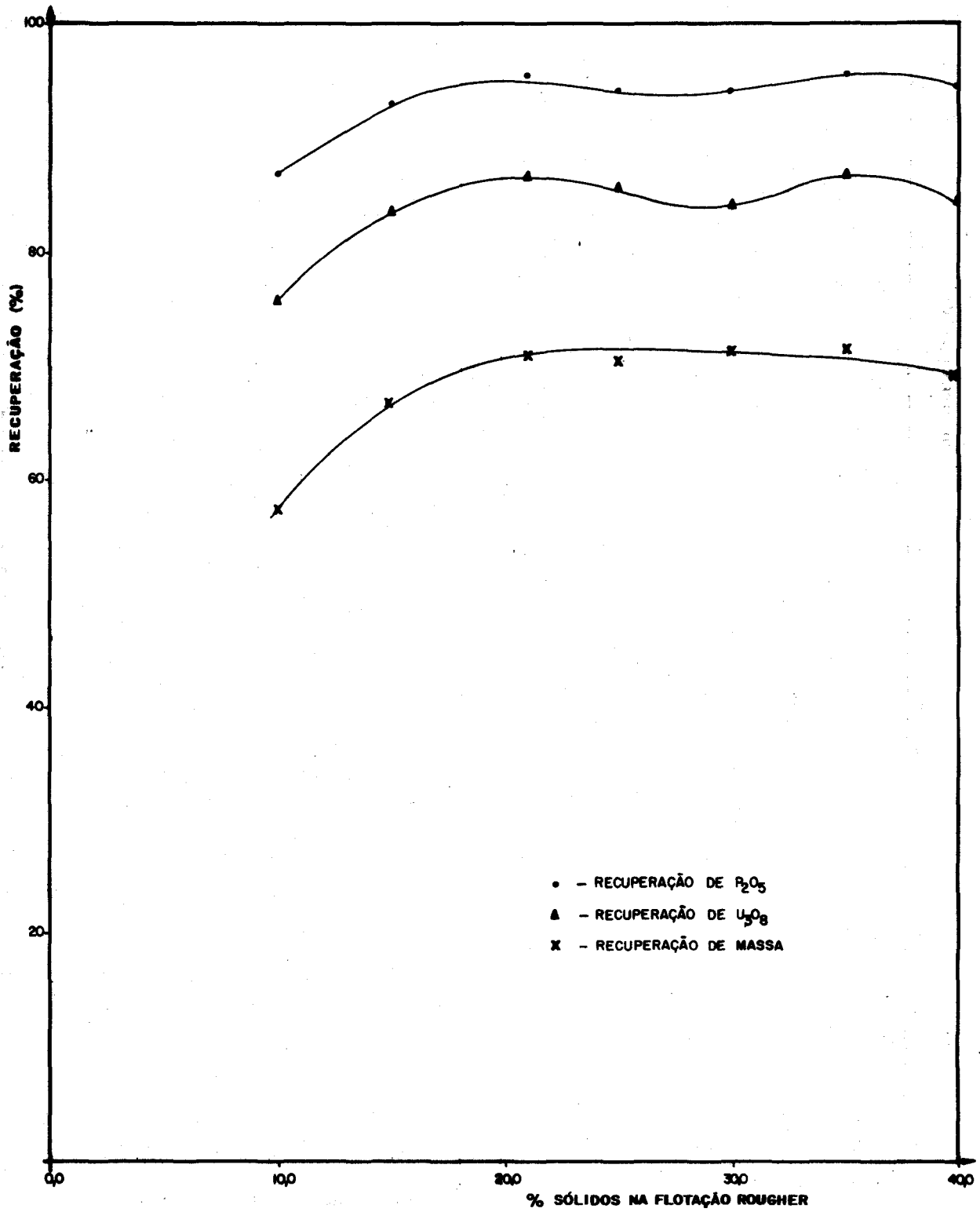


Figura 8 - Efeito do tempo de condicionamento dos depressores sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e de material flotado

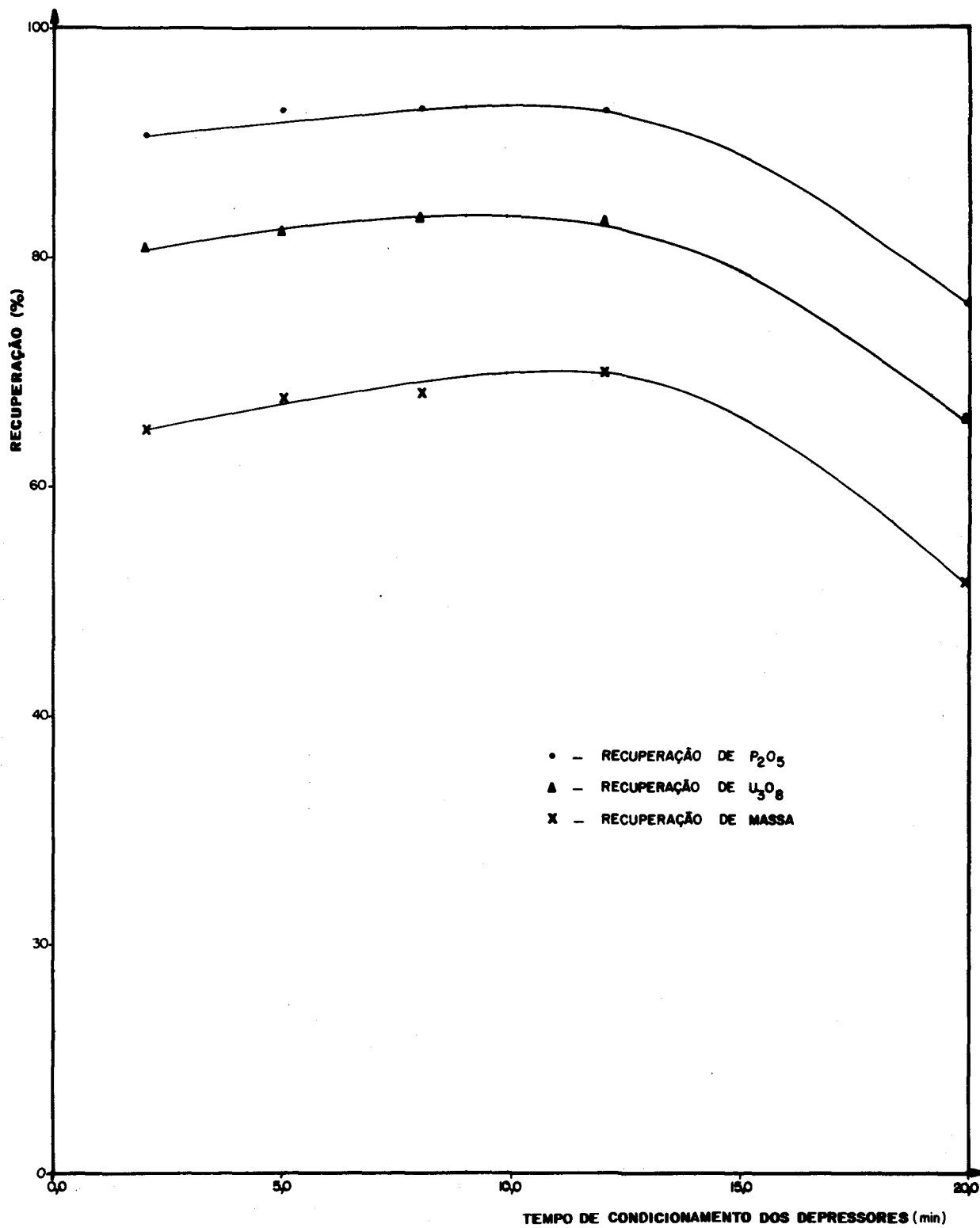


Figura 9 - Efeito do tempo de condicionamento do coletor sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e de material flotado

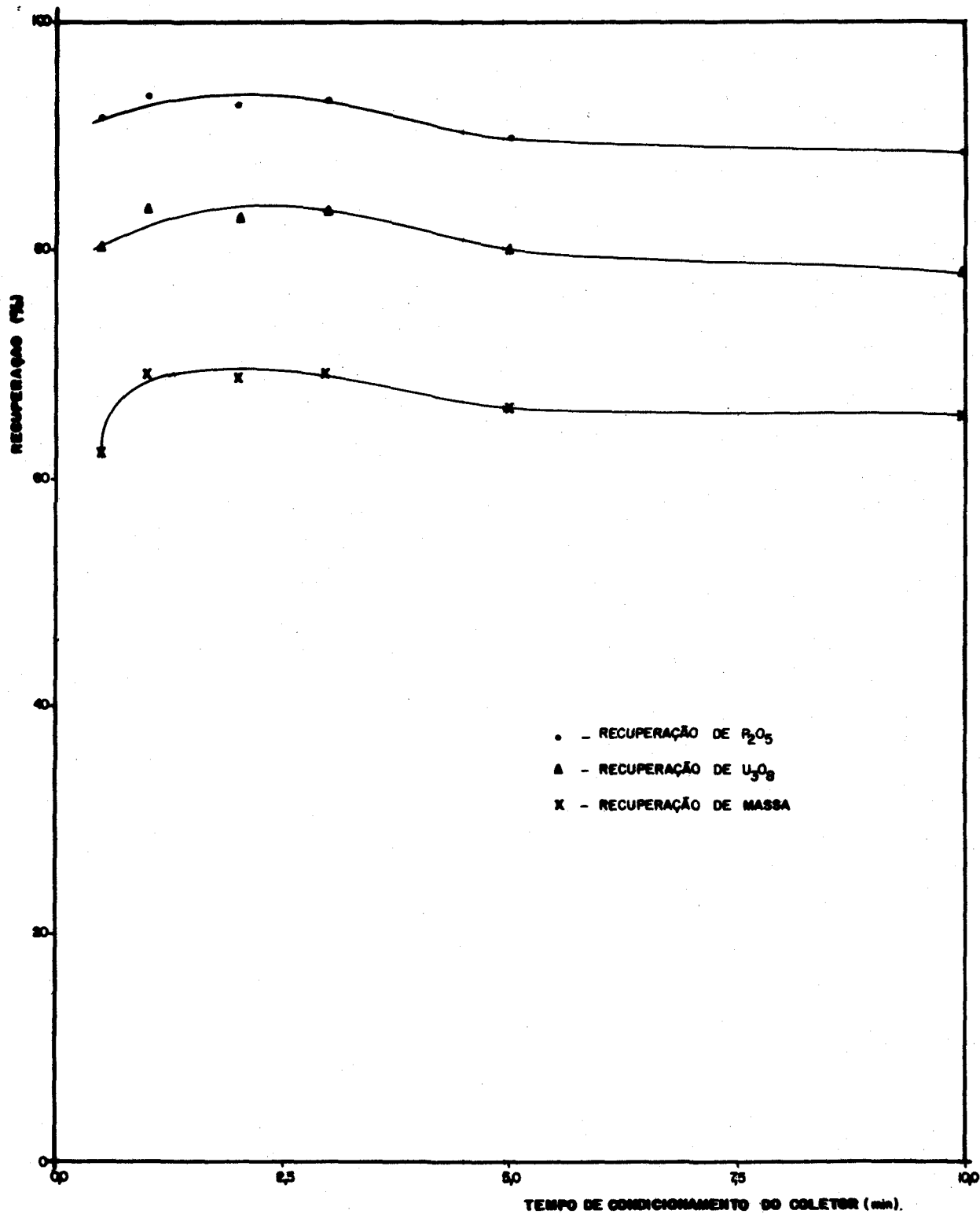
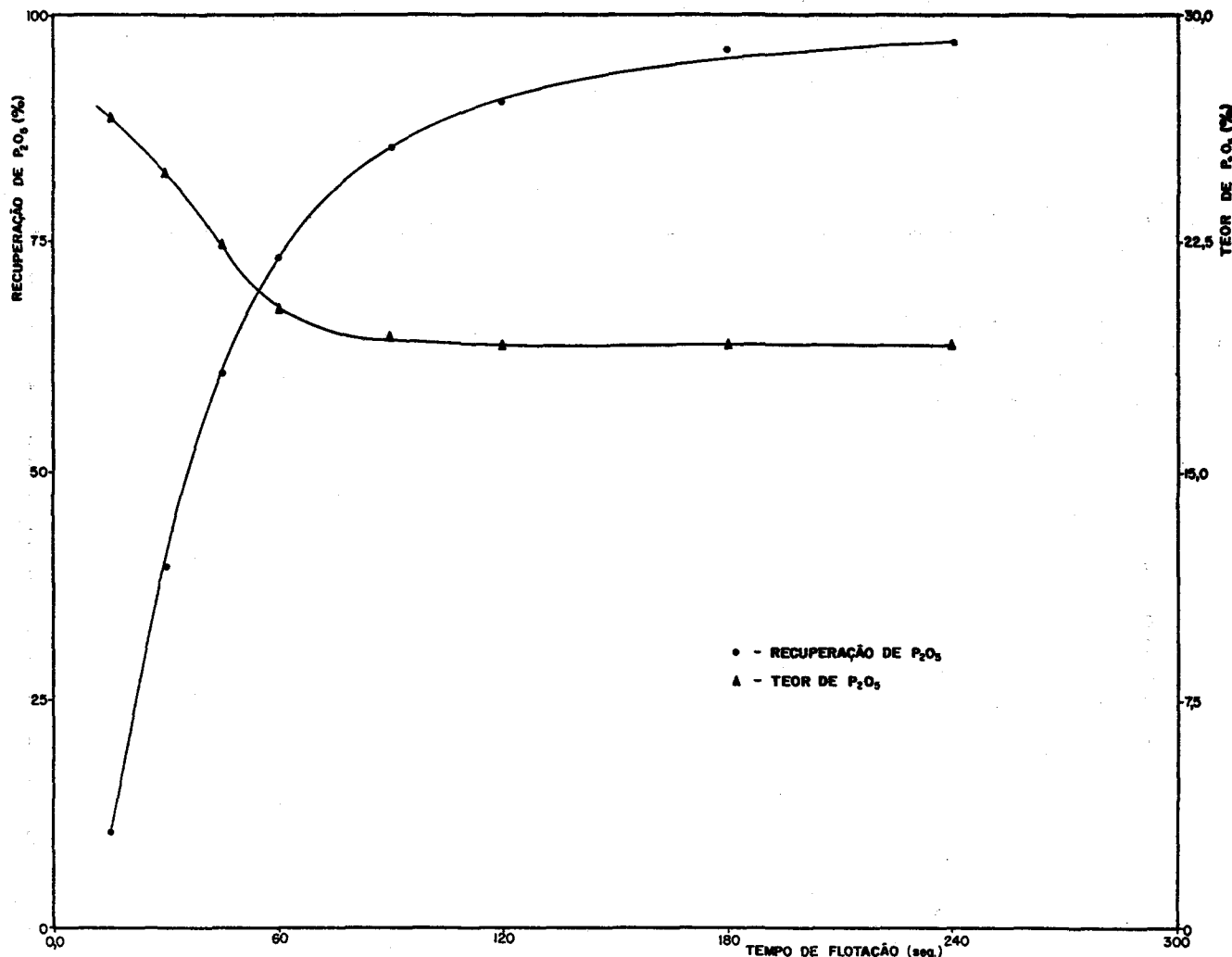


Figura 10 - Tempo de flotação versus recuperação e teor de P_2O_5 no concentrado "Rougher"



As Figs. 13 e 14 mostram os resultados dos ensaios variando a quantidade de coletor e o valor do pH na flotação "scavenger".

Nas Figs. 15 e 16 estão apresentados os resultados dos ensaios com diferentes quantidades de collamil e valores de pH na flotação "cleaner".

As melhores condições de flotação "rougher", "scavenger" e "cleaner" obtidas neste trabalho, sem adição estagiada de "tall oil" na etapa "rougher", estão apresentadas na

Tab.V. Os balanços de massa e metalúrgico do ensaio referente à estas condições estão mostrados na Fig. 17.

Na Fig. 18 estão apresentados os balanços de massa e metalúrgico do melhor ensaio realizado com adição estagiada de 400 g/t de "tall oil" na etapa "rougher", sendo 200 g/t no "rougher-1" e 200 g/t no "rougher-2" com tempos de flotação de 2,0 e 1,0 minuto, respectivamente. Como o teor de P_2O_5 obtido no concentrado final deste teste estava abaixo do desejado ($\approx 30\%$) foram realizados testes reduzindo a quantidade de "tall oil" na segunda etapa "rougher" e compensando-a na flotação "scavenger". Obteve-se um concentrado final com o teor desejado de P_2O_5 , realizando a adição de 100 g/t de "tall oil" na segunda etapa "rougher". Os balanços de massa e metalúrgico, para este teste se encontram na Fig. 19.

TABELA V - Melhores condições de flotação em laboratório sem adição estagiada de tall-oil

| Variáveis Estudadas | E T A P A | | |
|--|-----------|-------------|-----------|
| | "ROUGHER" | "SCAVENGER" | "CLEANER" |
| Quantidade de Tall Oil (g/t) | 400,0 | 125 | - |
| Quantidade de Collamil (g/t) | 250,0 | - | 0,0 |
| Quantidade de Silicato de Sódio (g/t) | 250,0 | - | - |
| pH de condicionamento dos depressores | 10,0 | - | - |
| pH de flotação | 9,8 | 8,5 | 8,5 |
| % Sólidos no condicionamento dos depressores | 40,0 | - | - |
| % Sólidos na flotação Rougher | 21,0 | - | - |
| Tempo de condicionamento dos depressores (min) | 5,0 | - | - |
| Tempo de condicionamento de Tall Oil (min) | 0,5 | - | - |
| Tempo de flotação (min) | 2,5 | - | - |

Figura 11 - Efeito da adição estagiada de tall oil, em diferentes tempos de flotação, sobre as recuperações de P_2O_5

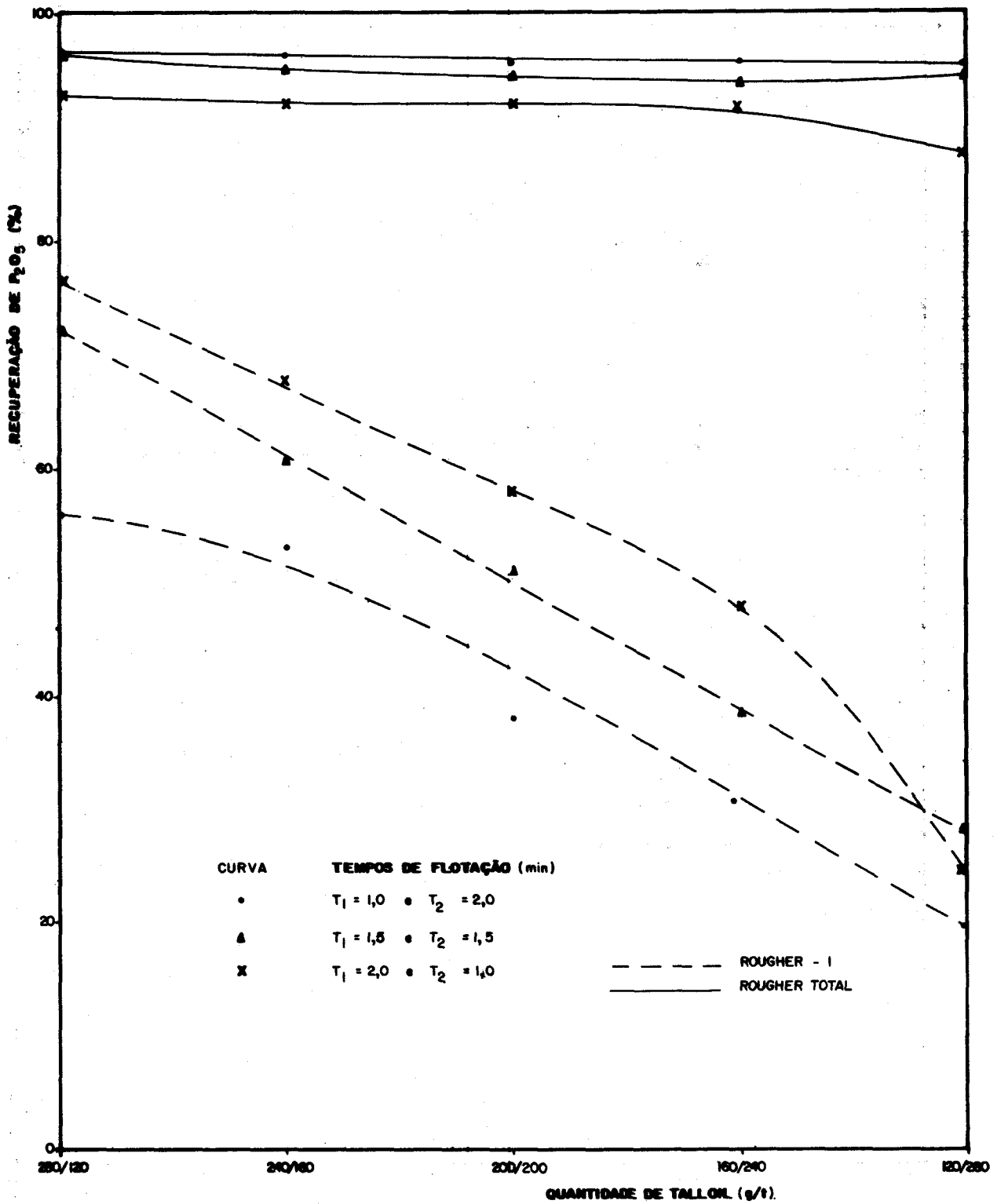


Figura 12 - Efeito da adição estagiada de tall oil, em diferentes tempos de flotação, sobre os teores de P_2O_5 nos concentrados

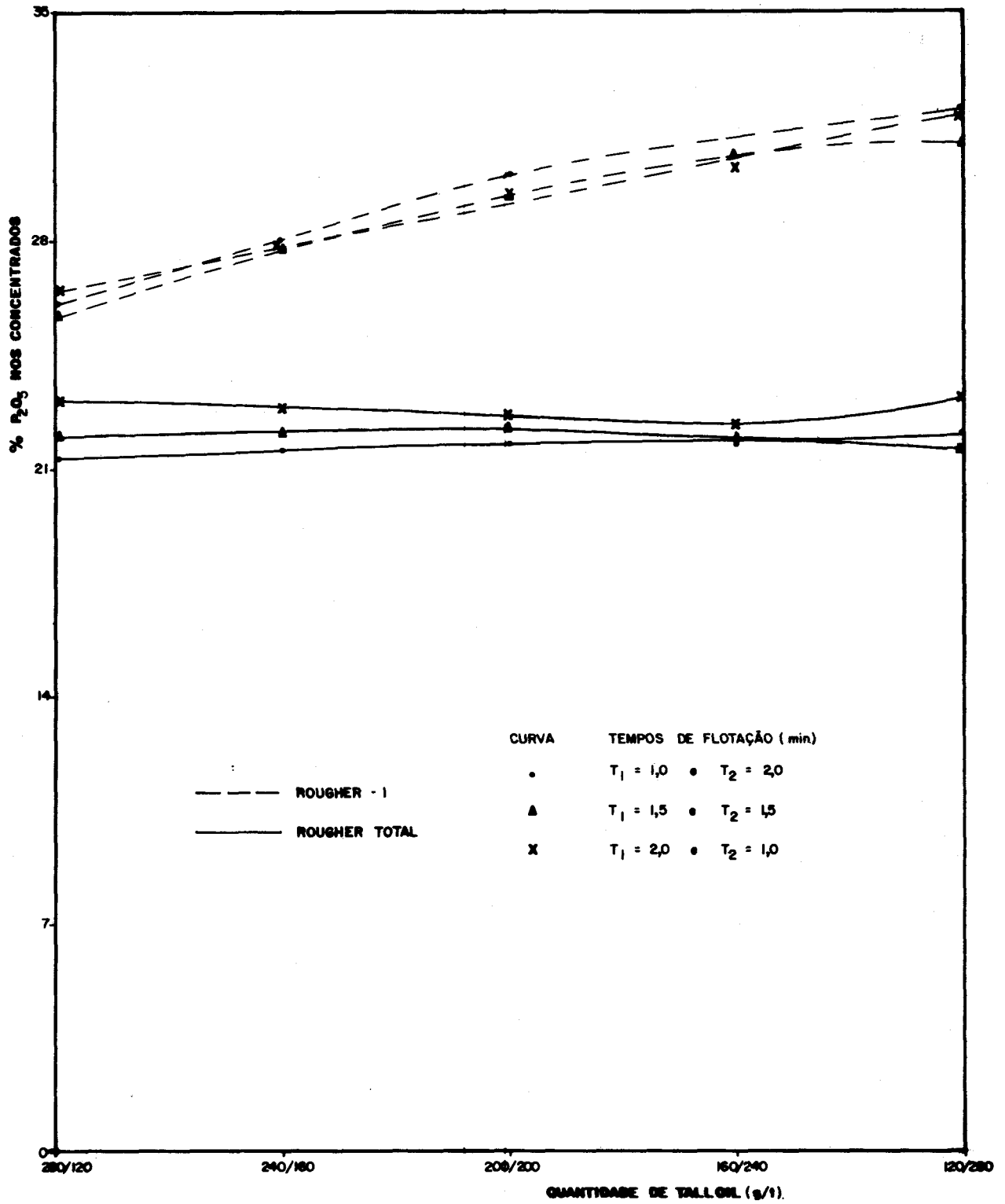


Figura 13 - Efeito da quantidade de tall oil sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e teor de P_2O_5 no concentrado "Scavenger"

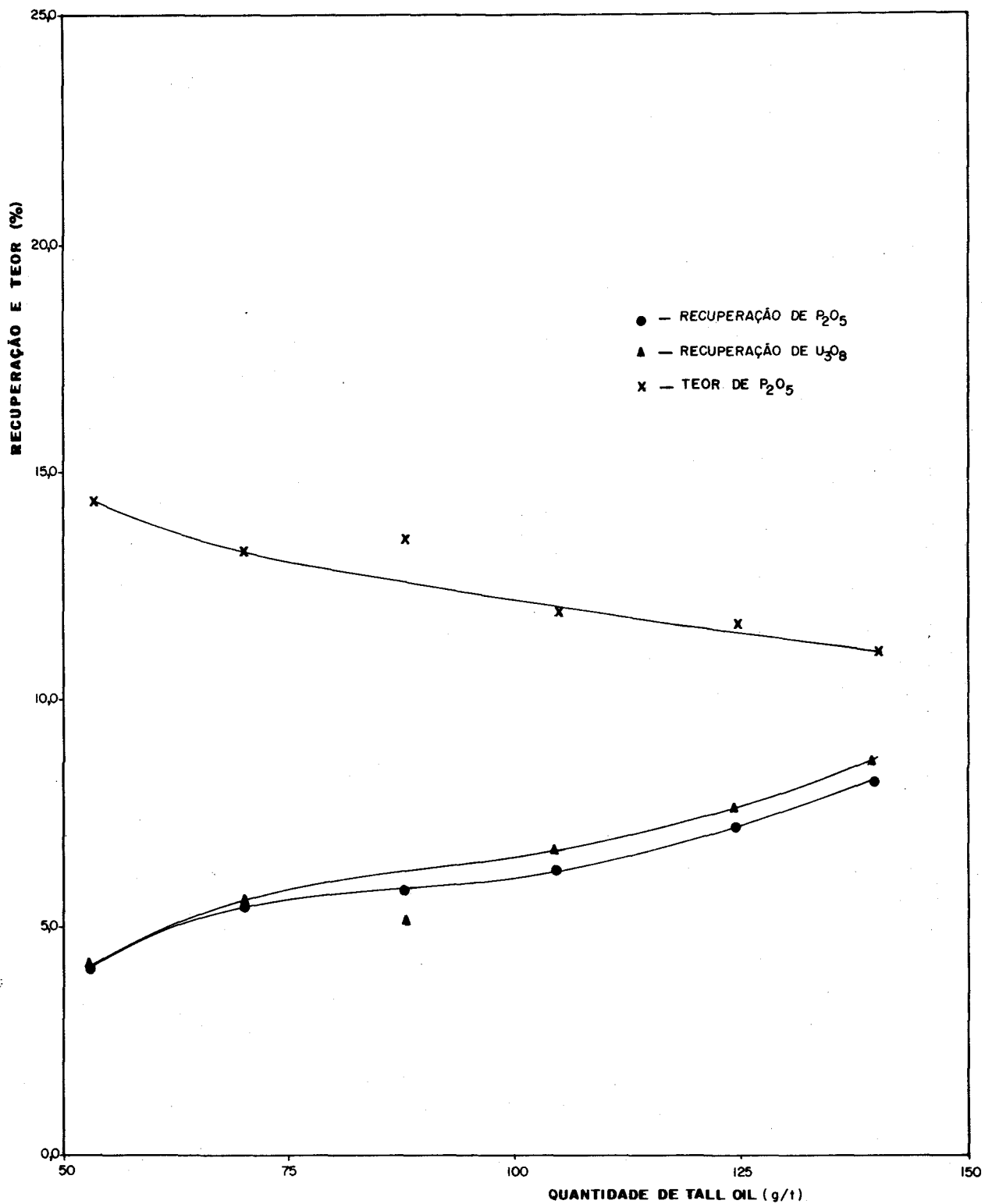


Figura 14 - Efeito do pH sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e o teor de P_2O_5 no concentrado "Scavenger"

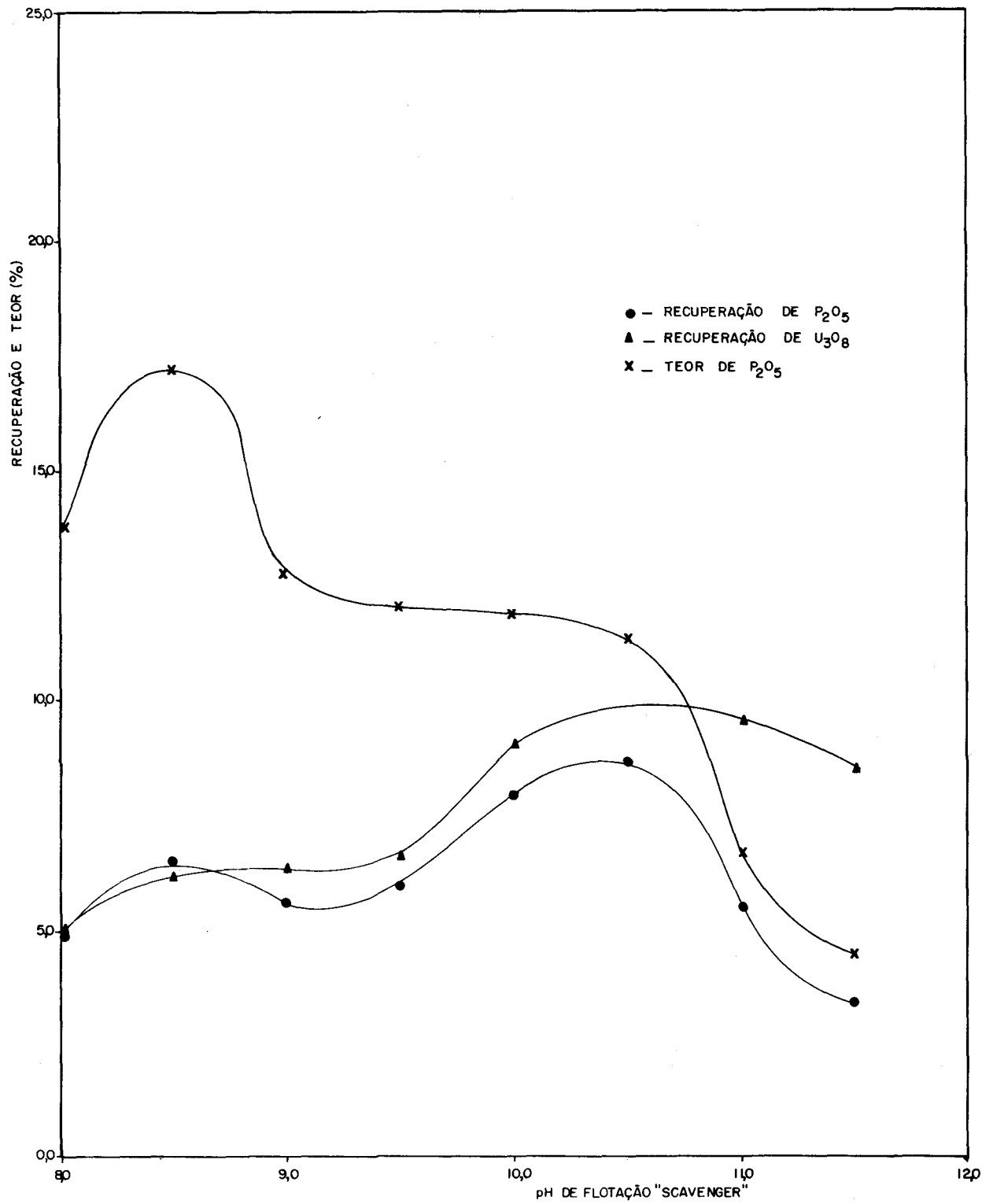


Figura 15 - Efeito da quantidade de collamil, na flotação "Cleaner", sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e o teor de P_2O_5

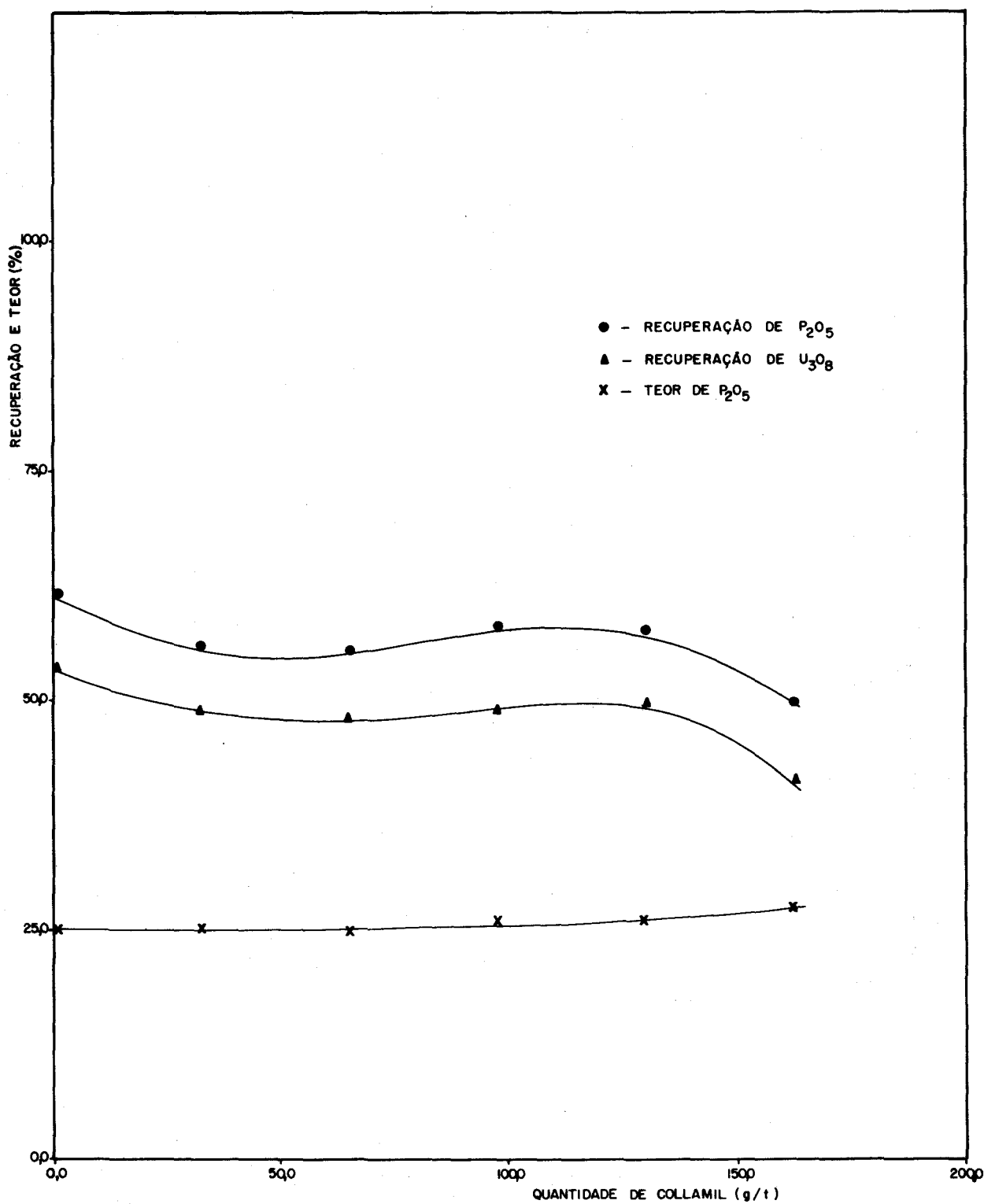


Figura 16 - Efeito do valor do pH sobre as recuperações de P_2O_5 , U_3O_8 e o teor de P_2O_5 no concentrado cleaner

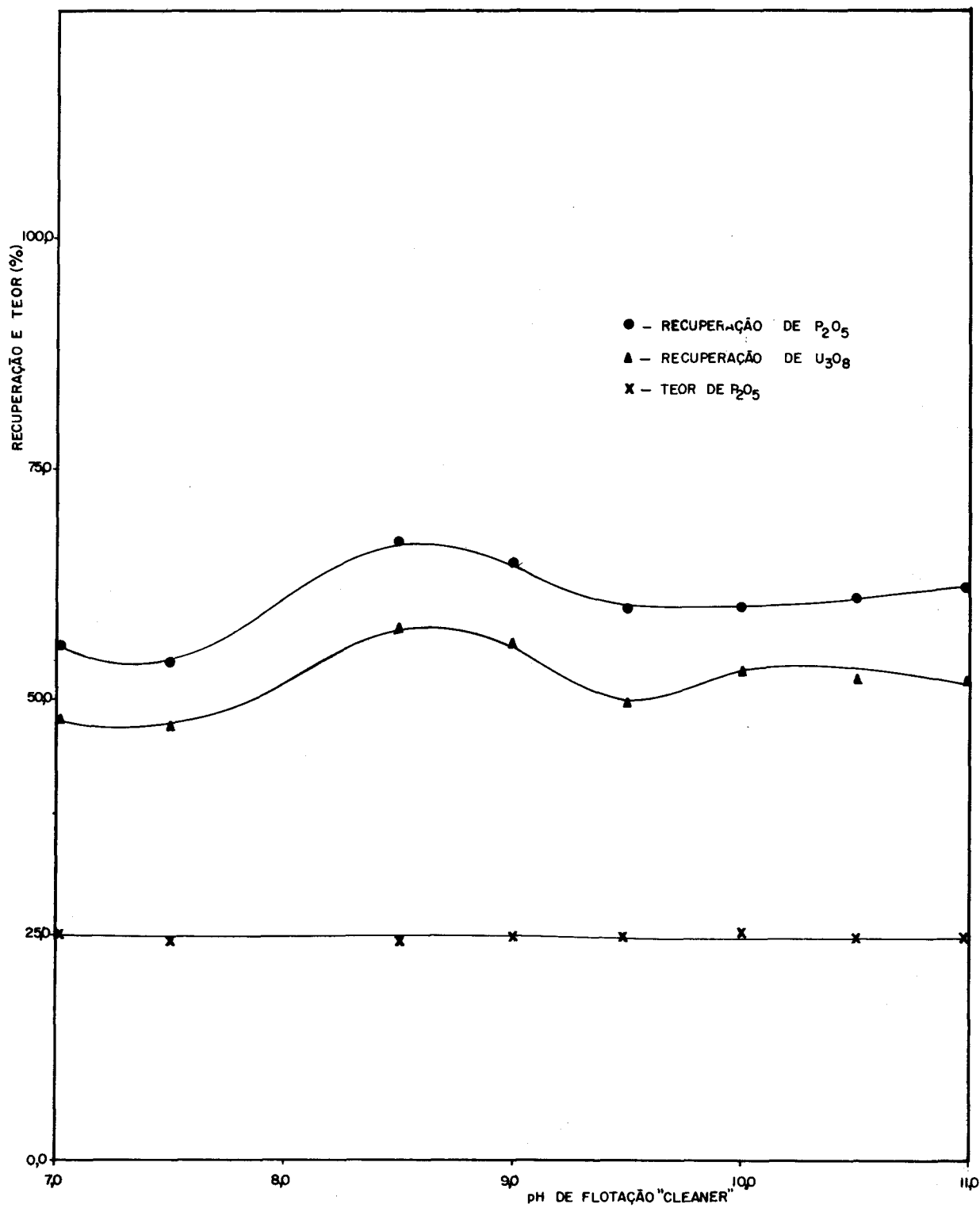


FIGURA 17 - Balanço de massa e metalúrgico sem adição estagiada de "Tall Oil"

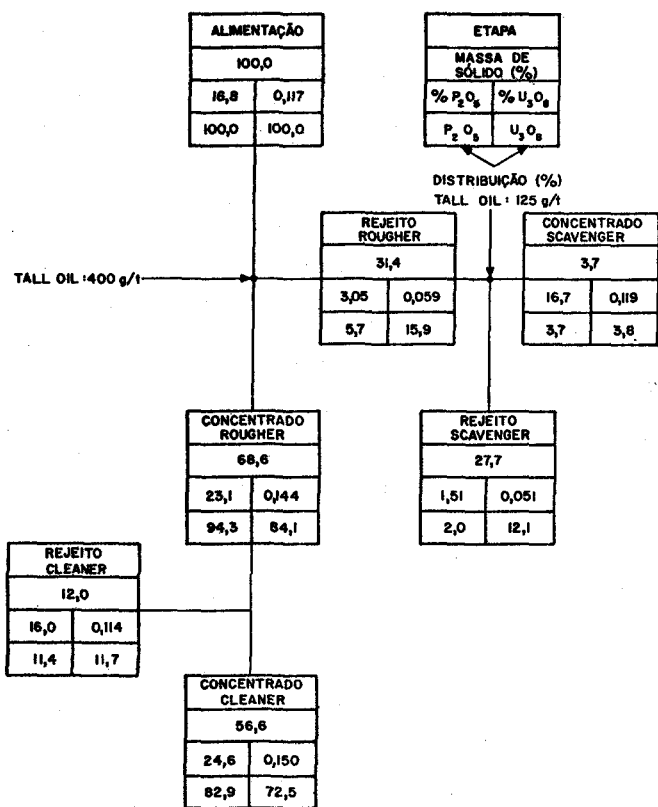
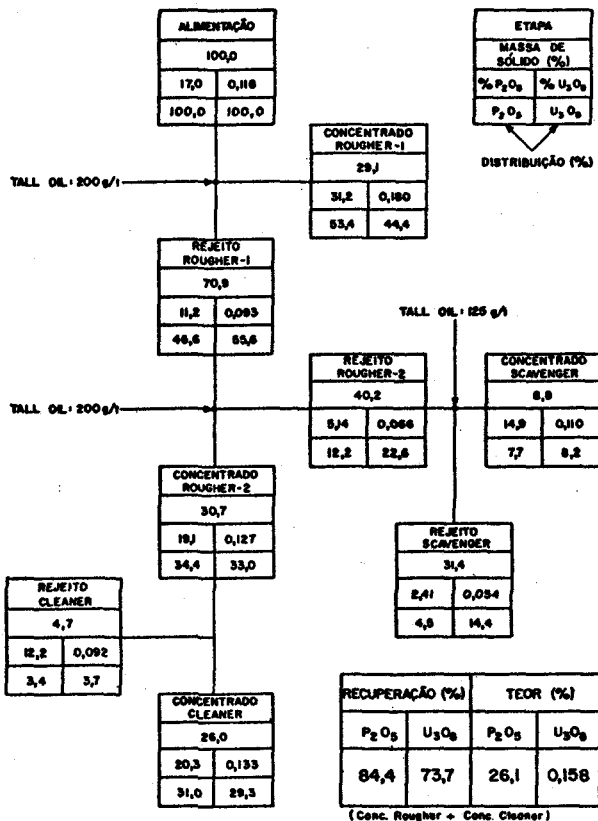


FIGURA 18 - Balanço de massa e metalúrgico com adição estagiada de "Tall Oil"



Na Tab. VI têm-se os valores das recuperações e teores de P₂O₅ e U₃O₈ nos concentrados finais dos testes apresentados nas figuras 17, 18 e 19.

Tabela VI - Resultados obtidos em laboratório

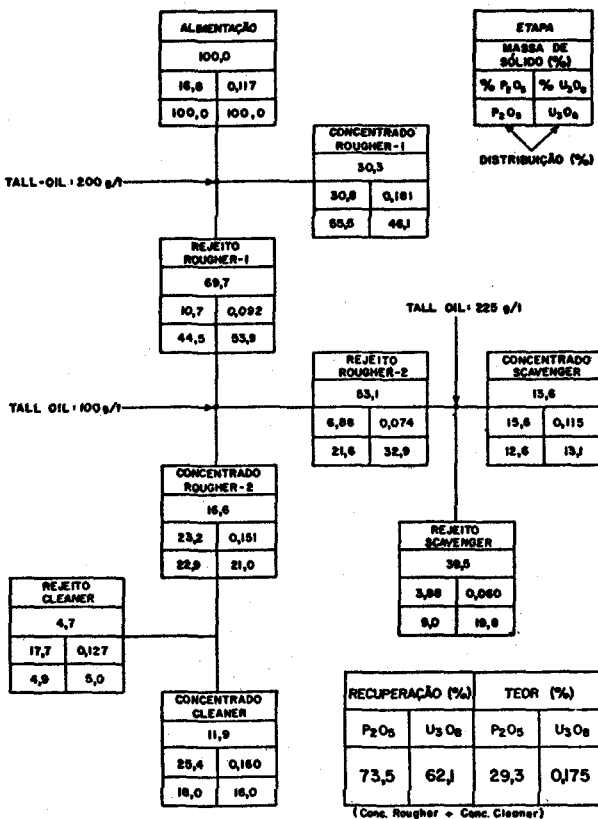
| FIGURA | RECUPERAÇÃO (%) | | TEOR (%) | |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | P ₂ O ₅ | U ₃ O ₈ | P ₂ O ₅ | U ₃ O ₈ |
| 17 | 82,9 | 72,5 | 24,6 | 0,150 |
| 18 | 84,4 | 73,7 | 26,1 | 0,158 |
| 19 | 73,5 | 62,1 | 29,3 | 0,175 |

FIGURA 17 - Sem adição estagiada de Tall-Oil
Rougher: 400 g/t
Scavenger: 125 g/g

FIGURA 18 - Com adição estagiada de Tall-Oil
Rougher-1: 200 g/t
Rougher-2: 200 g/t
Scavenger: 125 g/t

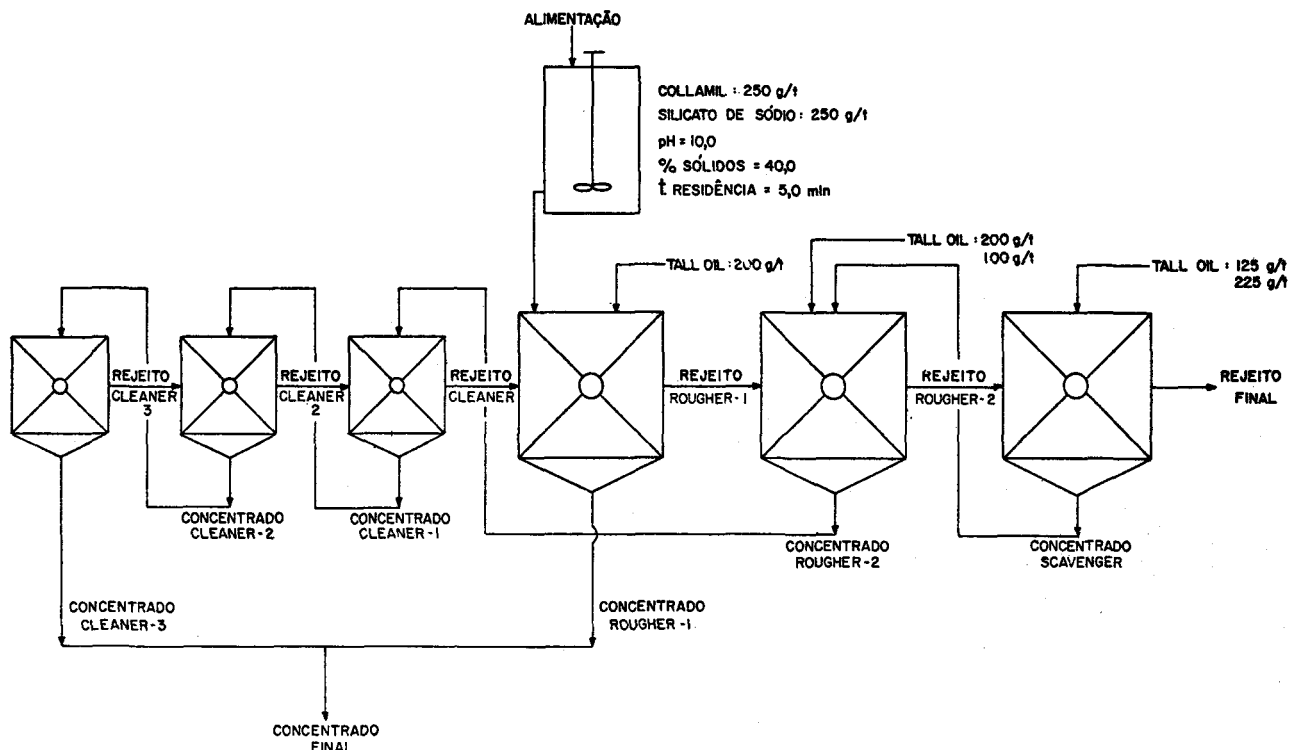
FIGURA 19 - Com adição estagiada de Tall-Oil
Rougher-1: 200 g/t
Rougher-2: 100 g/t
Scavenger: 225 g/t

FIGURA 19 - Balanço de massa e metalúrgico com adição estagiada de "Tall Oil"



Na Fig. 20 está apresentado o fluxograma com as condições propostas para se estudar esta amostra em escala piloto.

Figura 20 - Fluxograma proposto para estudar a amostra em escala



5.2. Piloto

Mantendo as melhores condições de flotação determinadas em laboratório foram realizados três testes em escala piloto.

Os resultados, obtidos nos teste 2 e 3, estão apresentados na Tab.VII.

Na Fig. 21 está apresentado o fluxograma completo com condições e resultados do teste 3.

6. Conclusões

Atendendo ao objetivo de obtenção de um concentrado fosfático com teor da ordem de 30% em P_2O_5 , os resultados obtidos neste trabalho indicam recuperações da ordem de 75%. Estes resultados permitem concluir que o processo de concentração por flotação usando o sistema de reagentes tall oil, collamil e silicato de sódio, poderá ser aplicado ao tratamento do minério fósforo uranífero de Itaitaia-Ceará.

A varredura exhaustiva das variáveis mais importantes do processo permitem, também, concluir que a obtenção de maiores valores de recuperação só será possível através da avaliação de outros reagentes e/ou

Tabela VII - Resultados obtidos em piloto

| TESTE | RECUPERAÇÃO (%) | | TEOR (%) | |
|-------|-----------------|----------|----------|----------|
| | P_2O_5 | U_3O_8 | P_2O_5 | U_3O_8 |
| 2 | 73,4 | 61,4 | 28,9 | 0,171 |
| 3 | 76,7 | 65,4 | 28,4 | 0,175 |

TESTE 2 - Adição estagiada de Tall-Oil
 Rougher-1: 294 g/t
 Rougher-2: 123 g/t
 Scavenger: 236 g/t

TESTE 3 - Adição estagiada de Tall-Oil
 Rougher-1: 303,8 g/t
 Rougher-2: 194,5 g/t
 Scavenger: 225,3 g/t

modificadores que favoreçam uma maior seletividade entre as espécies minerais presente (apatita e calcita).

Figura 21 - Condições e resultados obtidos no teste piloto nº 3

