

**CNEN/SP**

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

GOVERNO DO BRASIL

**NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DE EQUILÍBRIO DO ÁCIDO NÍTRICO,
DO RUTÊNIO E DO ZIRCÔNIO NO SISTEMA DE EXTRAÇÃO
LÍQUIDO-LÍQUIDO TBP 20% – DILUENTE/HNO₃/H₂O**

Christina Aparecida Leão Guedes de OLIVEIRA e Bertha Fioh de ARAUJO

IPEN-Pub-355

NOVEMBRO/1991

SÃO PAULO

**NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DE EQUILÍBRIO DO ÁCIDO NÍTRICO, DO RUTÊNIO
E DO ZIRCÔNIO NO SISTEMA DE EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO
TBP 20% – DILUENTE/HNO₃/H₂O**

Christina Aparecida Leão Guedes de OLIVEIRA e Bertha Flich de ARAUJO

DEPARTAMENTO DO CICLO COMBUSTÍVEL

**CNEN/SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SÃO PAULO – BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

B12.10

B16.20

NITRIC ACID

RUTHENIUM NITRATES

ZIRCONIUM NITRATES

TBP

SOLVENT EXTRACTION

EQUILIBRIUM

SPENT FUELS

REPROCESSING

IPEN - Doc - 4083

Aprovado para publicação em 05/08/91

Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).

NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DE EQUILÍBRIO DO ÁCIDO NÍTRICO, DO RUTÊNIO E DO ZIRCÔNIO NO SISTEMA DE EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO DO TBP 20% - DILUENTE/HNO₃/H₂O *

Christina Aparecida Leão Guedes de OLIVEIRA e Bertha Floh de ARAUJO

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - Brasil**

RESUMO

Estudou-se o comportamento de extração do ácido nítrico, do nitrato de nitrosil-rutênio e do hidroxinitrato de zircônio no sistema fosfato de tri-n-butila (TBP) 20% - diluente, visando a obtenção de dados para a elaboração de fluxogramas de processo para o tratamento de combustíveis de urânio irradiados. A parte experimental consistiu na determinação dos diagramas de equilíbrio do ácido nítrico, do rutênio e do zircônio, a partir dos quais verificou-se a influência da concentração destes e dos íons nitratos, presentes na fase aquosa, sobre a distribuição. Determinou-se, ainda, a densidade e a tensão superficial das fases aquosa e orgânica, bem como a tensão interfacial após o contacto entre as fases. Com os dados de equilíbrio obtidos nos experimentos, juntamente com os dados colhidos da literatura, elaboraram-se modelos matemáticos para expressar o comportamento da distribuição do ácido nítrico, do rutênio e do zircônio em função da concentração dos íons nitrato na fase aquosa. Verificou-se que não há alteração do comportamento de extração dos elementos estudados com a redução do TBP de 30% v/v (concentração normalmente empregada) para 20% v/v. Notou-se, apenas, uma diminuição nos valores da distribuição, fator este importante na descontaminação do urânio dos seus contaminantes rutênio e zircônio.

(*) Trabalho apresentado no XXVI Congresso Brasileiro de Química, realizado de 06 a 11 de outubro de 1985, em Fortaleza, Brasil.

TBP 20% - DILUENT/HNO₃/H₂O LIQUID-LIQUID EXTRACTION SYSTEM:
EQUILIBRIUM DATA NORMALIZATION OF NITRIC ACID, RUTHENIUM
AND ZIRCONIUM *

Christina Aparecida Leão Guedes de OLIVEIRA e Bertha Floh
de ARAUJO

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - Brasil

ABSTRACT

The extraction behavior of nitric acid, nitrosyl-ruthenium nitrate and zirconium hydroxide nitrate in the system tri-n-butyl phosphate (TBP) 20% - diluent was studied. The main purpose was to obtain enough data to elaborate process flowsheets for the treatment of irradiated uranium fuels. During the runs, the equilibrium diagrams of nitric acid, ruthenium and zirconium were settled. From the achieved data, the influence of nitric acid, ruthenium, zirconium and nitrate ions concentration in the aqueous phase was checked. Furthermore, the density and the surface tension of the aqueous and organic phases were determined, gathering the interfacial tension after the contact between the phases. A comparison between the obtained equilibrium data and the existing one from literature allowed the elaboration of mathematical models to express the distribution behavior of nitric acid, ruthenium and zirconium as a function of nitrate ions concentration in the aqueous phase. The reduction of TBP concentration from 30% v/v (normally used) to 20% v/v, has shown no influence in the extraction behavior of the elements. A decrease in the distribution values was observed and that means an important factor during the decontamination of uranium from its contaminants, ruthenium and zirconium.

(*) Paper presented at XXVI Congresso Brasileiro de Química, held in Fortaleza, Brazil, October 06-11, 1985.

I - INTRODUÇÃO

O ciclo do combustível nuclear compreende todas as fases do material nuclear, antes, durante e após a sua permanência no reator nuclear. De um modo geral, envolve fases bem definidas que vão desde a prospecção do mineral, passando pela fabricação do elemento combustível, sua utilização no reator até a sua recuperação para um posterior reaproveitamento (FIGURA 1) (1).

A recuperação do elemento combustível gasto é denominada reprocessamento. Consiste na separação dos elementos físséis e férteis dos produtos de fissão formados durante a utilização no reator. Desta forma, os actinídeos são descontaminados e novamente reutilizados.

Dentre os processos de recuperação dos actinídeos do elemento combustível, os processos de extração com solvente são os que apresentam resultados realmente satisfatórios. Dos vários solventes estudados, o mais conveniente para o emprego, tanto em instalações piloto como em instalações industriais é o fosfato de tri-*n*-butila (TBP).

Entre 1948 e 1950, desenvolveram-se estudos de laboratório para a elaboração de um processo de extração, denominado PUREX (Plutonium, Uranium, Reduction by Extraction) (2,3,4). Este, um processo contínuo de extração líquido-líquido, usa o TBP diluído com querosene ou *n*-dodecano, geralmente a 30% v/v, como agente extrator. Neste processo, os nitratos de U(VI) e de Pu(IV) são extraídos para a fase orgânica enquanto que a maioria dos nitratos dos produtos de fissão permanece na fase aquosa. O processo PUREX, ainda hoje, é o processo que tem apresentado os melhores resultados e, portanto, o mais largamente empregado (FIGURA 2) (5).

Atualmente, tem-se verificado que o uso do TBP em menor concentração, 20% v/v, tem apresentado uma série de vantagens, as quais conduzem a uma pesquisa mais detalhada sobre o seu desempenho durante a extração. São elas: menor quantidade de produtos de degradação do solvente, redução

dos riscos de criticalidade e inflamabilidade, maior diferença de densidade entre as fases e menor extração dos produtos de fissão.

O estudo dos elementos rutênio e zircônio durante a extração no sistema TBP 20% - diluente/ $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$ é o objetivo deste trabalho. A escolha destes elementos deve-se ao fato de serem os mais problemáticos durante a extração, pois provocam contaminação nas linhas de tratamento do urânio e do plutônio.

A partir dos dados de equilíbrio do rutênio, do zircônio e do ácido nítrico, colhidos na literatura e obtidos experimentalmente, serão propostos modelos matemáticos, os quais deverão expressar o comportamento de distribuição destes elementos na extração com TBP 20% v/v em diluente.

II - PARTE EXPERIMENTAL

II.1. Equipamentos

Utilizaram-se os seguintes equipamentos no desenvolvimento da parte experimental:

- conjunto de funis de separação cilíndricos com agitação mecânica proporcionada por hastes de agitação;
- espectrômetro de raios-gama:
 - . detector de cintilação de cristais de $\text{NaI}(\text{Tl})$
 - . detector de germânio de alta pureza;
- potenciômetro;
- tensiômetro;
- densímetro.

II.2. Reagentes

Utilizaram-se os seguintes reagentes:

- solução de nitrato de nitrosil - rutênio preparada a partir do cloreto de rutênio trihidratado⁽⁶⁾;
- solução de hidroxinitrato de zircônio obtido pela dissolução do oxidocloreto de zircônio;
- traçador ^{106}Ru - ^{106}Rh : concentração radioativa = 64000 bq/mL;
- traçador ^{95}Zr - ^{95}Nb obtido pela irradiação de uma lâmina de Zircaloy-4: concentração radioativa = 42000 bq/mL;
- TBP diluído em n-dodecano a 20% v/v;
- ácido nítrico.

II.3. Técnica Experimental

Todos os experimentos de extração foram realizados segundo um procedimento padrão, que consistiu no contacto entre as fases aquosa e orgânica em funis de separação cilíndricos termostatizados a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, com agitação mecânica de 1500 rpm controlada por tacômetro. Decantadas, as fases foram filtradas sobre papel de filtro e recolhidas separadamente em tubos de contagem ou em frascos de amostra para as devidas análises.

III - DADOS EXPERIMENTAIS

Iniciou-se o estudo da distribuição determinando-se o tempo de equilíbrio de extração do rutênio e do zircônio com TBP 20% - n-dodecano. Observou-se que em ambos os casos o equilíbrio se estabeleceu logo nos primeiros minutos

(FIGURAS 3 e 4). Desta forma, os demais experimentos realizaram-se com um tempo de agitação de 5 minutos e de decantação de 15 minutos.

Determinaram-se a seguir os diagramas de equilíbrio do rutênio (FIGURA 5) e do zircônio (FIGURA 6).

Para o rutênio notou-se um aumento na extração em HNO_3 1M e depois uma diminuição com o aumento da acidez, indicando haver uma competição com o ácido nítrico pelo TBP. O zircônio, ao contrário, mostrou um aumento da extração com o aumento da acidez. Verificou-se, ainda, haver certa influência da concentração de zircônio na sua distribuição (FIGURA 7). Quanto maior a concentração de zircônio nas soluções de alimentação, menor a sua extração.

Nos diagramas de equilíbrio do HNO_3 , em presença de rutênio (FIGURA 8) e de zircônio (FIGURA 9), notou-se um comportamento semelhante nos dois casos, indicando que a extração de HNO_3 não se altera mesmo que nas soluções de alimentação exista qualquer um dos elementos citados.

A determinação das densidades nas fases aquosa e orgânica, após a extração do rutênio (FIGURAS 10 e 11) e do zircônio (FIGURAS 12 e 13), mostrou existir uma boa diferença de densidade entre as fases e uma influência das concentrações destes elementos, principalmente na fase aquosa.

Determinaram-se, ainda, as tensões superficiais (FIGURAS 14 e 15) e interfaciais (FIGURAS 16 e 17). Observou-se que as concentrações do zircônio, do rutênio e do ácido nítrico exercem influência sobre as tensões.

IV - MODELO MATEMÁTICO

O ajuste dos dados experimentais a uma função específica é denominada REGRESSÃO ⁽⁷⁾. Neste trabalho, utilizou-se o método dos mínimos quadrados e a adequação do ajuste é verificada pela análise de variância (coeficiente de cor

relação múltipla e testes de hipótese) e pelos resíduos.

Utilizou-se nos trabalhos de regressão, o programa SAS (Statistical Analysis System) instalado no computador IBM/377 modelo 155 do Departamento de Processamento de Dados do IPEN/CNEN-SP, com a seguinte seqüência de operações:

- (1) - forneceram-se ao computador os dados de equilíbrio e o modelo que se submeterão à regressão;
- (2) - como resposta, obtiveram-se o valor dos parâmetros ajustados, uma tabela de análise de variância e gráficos de resíduos;
- (3) - com base na resposta, modificou-se o modelo e retiraram-se os pontos aberrantes ("outliers");
- (4) - repete-se (3) até se obter o melhor ajuste.

Para tornar os modelos matemáticos os mais abrangentes possíveis, colheram-se dados da literatura obtidos nas mesmas condições deste trabalho, os quais se uniram aos dados experimentais aqui determinados para a distribuição do zircônio, do rutênio e do ácido nítrico.

Como já mencionado anteriormente, a obtenção dos modelos matemáticos apresentou o mesmo procedimento nos três casos. Determinou-se, inicialmente, a constante aparente de equilíbrio pela equação:

$$\tilde{K}_E = \frac{[E(NO_3^-)_x (TBP)_y]^o}{[E]_a}$$

onde:

E = rutênio, zircônio ou ácido nítrico,

x = número de íons NO_3^- ,

y = número de moléculas de TBP,

o,a = fases orgânica e aquosa, respectivamente.

Aplicou-se, então, o método da regressão, considerando nos modelos propostos, além de \bar{K}_E , as concentrações de íons nitrato (N_a) e de TBP livre ($[TBP]_l$ que não foi complementado).

Substituíram-se as expressões obtidas para \bar{K}_E nas respectivas equações de distribuição, obtendo-se os seguintes resultados:

$$D_H = 0,136 N_a^{0,531} e^{0,209N_a} [TBP]_l$$

$$D_{Ru} = 0,085 N_a^{0,244} [TBP]_l^2$$

$$D_{Zr} = \frac{4,25 \times 10^{-4} [TBP]_l^2 e^{1,552N_a} - 0,031 (\ln[Zr]_a)^2}{[Zr]_a^{0,646}}$$

Pelas FIGURAS 18, 19 e 20 pode-se verificar a adequação dos modelos matemáticos propostos aos dados experimentais.

V - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

De acordo com o objetivo deste trabalho estudou-se a distribuição do rutênio, do zircônio e do ácido nítrico no sistema TBP 20% - diluente. Obtiveram-se, assim, informações que permitiram a avaliação do uso do TBP em menor concentração que a usual e a elaboração de modelos matemáticos para o cálculo da distribuição.

Comparando com os sistemas de extração que usam TBP 30% em diluente (concentração mais comumente empregada) pode-se verificar que os valores de distribuição dos produtos de fissão, rutênio e zircônio, são bem menores para o TBP 20% - diluente. No entanto, verifica-se que o comporta

mento de extração não difere nos dois sistemas.

A menor extração destes elementos pelo TBP 20% v/v proporciona também, uma recuperação mais fácil do solvente usando-se, conseqüentemente, menor quantidade de reagente na sua regeneração.

Pela redução da densidade da fase orgânica pode-se verificar uma separação mais rápida das fases. Este fato se torna importante devido ao uso cada vez maior de contactores centrífugos nas operações de extração no reprocessamento do combustível nuclear irradiado.

O mínimo observado nas tensões interfaciais dos sistemas estudados indicam que neste ponto ocorre a formação de substâncias de atividade interfacial elevada. O mesmo foi observado com relação às tensões superficiais das fases aquosas.

V.1. Comparação entre os Dados Experimentais e os Dados Teóricos de Distribuição

Para finalizar este trabalho faz-se necessário uma comparação entre os dados experimentais e os valores obtidos utilizando-se os modelos matemáticos aqui propostos.

Primeiramente, calculou-se a concentração de TBP livre teórico ($[TBP]_{\ell}^T$) utilizando-se as constantes aparentes de equilíbrio. Obtiveram-se as seguintes expressões para o seu cálculo:

(a) - para o ácido nítrico:

$$[TBP]_{\ell}^T = \frac{[TBP]_i}{1 + \tilde{K}_H N_a^2}$$

(b) - para o rutênio e o zircônio (representados por M):

$$[\text{TBP}]_{\ell}^{\text{T}} = \frac{[(1 + \bar{K}_{\text{HNa}} [\text{H}]_{\text{a}})^2 + 8 [\text{TBP}]_{\text{i}} \bar{K}_{\text{MNa}}^{\text{X}} [\text{M}]_{\text{a}}]^{1/2} - \bar{K}_{\text{HNa}} [\text{H}]_{\text{a}} - 1}{4 \bar{K}_{\text{MNa}}^{\text{X}} [\text{M}]_{\text{a}}}$$

Finalmente calcularam-se as distribuições (D_{E}^{T}) do rutênio (D_{Ru}^{T}), do zircônio (D_{Zr}^{T}) e do ácido nítrico (D_{H}^{T}).

Compararam-se os valores das distribuições (D_{E}^{C}) calculados com a concentração de TBP obtida nos experimentos e D_{E}^{T} calculadas com as concentrações de TBP obtidas pelas expressões de $[\text{TBP}]_{\ell}^{\text{T}}$.

Conclui-se que D_{E}^{T} apresentou valores mais próximos dos experimentais que D_{E}^{C} , apresentando erros percentuais que variam de 7 a 15% e de 10 a 22%, respectivamente.

Cabe repetir que os modelos aqui propostos são regritos, por se limitarem às condições já mencionadas anteriormente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ARAUJO, B.F. Notas de Aula.
- 2 - FLAGG, J.F. ed. *Chemical processing of reactor fuels*. New York, Academic, 1961.
- 3 - IRISH, E.R. & REAS, W.H. The PUREX process. A solvent extraction reprocessing method for irradiated uranium. In: UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION. *Reprocessing of irradiated fuels: Symposium on ... held at Brussels, Belgium, May 20-25, 1957*. Oak Ridge, Tenn., s.d. v.1, p. 83-106. (TID-7534).
- 4 - STARKS, J.B. *Purex process*. Aiken, S.C., Du Pont de Nemours, Jan. 1977. (DPSPU-77-11-1).
- 5 - FLOH, B.; ARAUJO, J.A.; MATSUDA, H.T. *Introdução ao estudo do tratamento de combustíveis nucleares irradiados*. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, Jan. 1975. (IEA-Inf-41).
- 6 - FLETCHER, J.M.; JENKINS, I.L.; LEVER, F.M.; MARTIN, F. S.; POWELL, A.R.; TODD, R. Nitrate and nitro complexes of nitrosylruthenium. *J. Inorg. Chem.*, 1:378-401, 1955.
- 7 - DRAPPER, N.R. & SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York, Wiley, 1966.

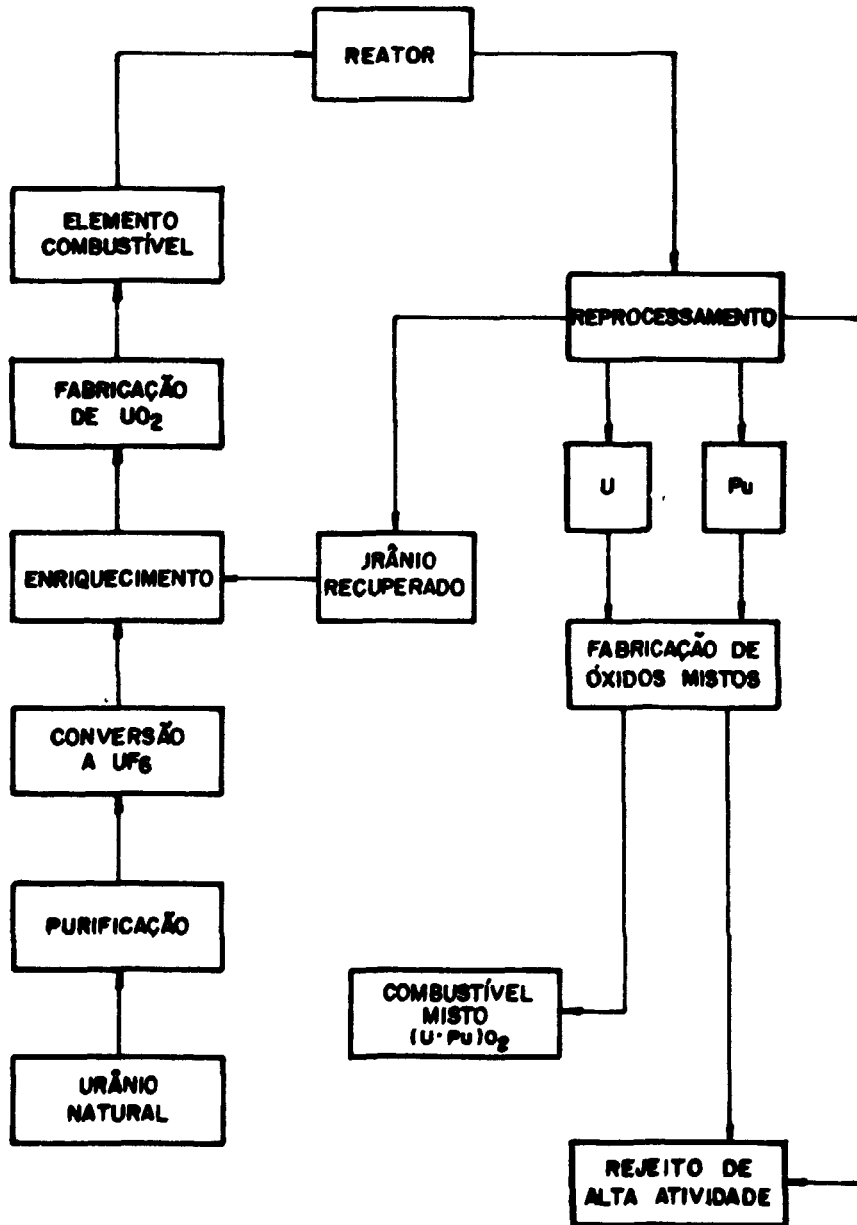


FIGURA 1 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO CICLO DO COMBUSTÍVEL.

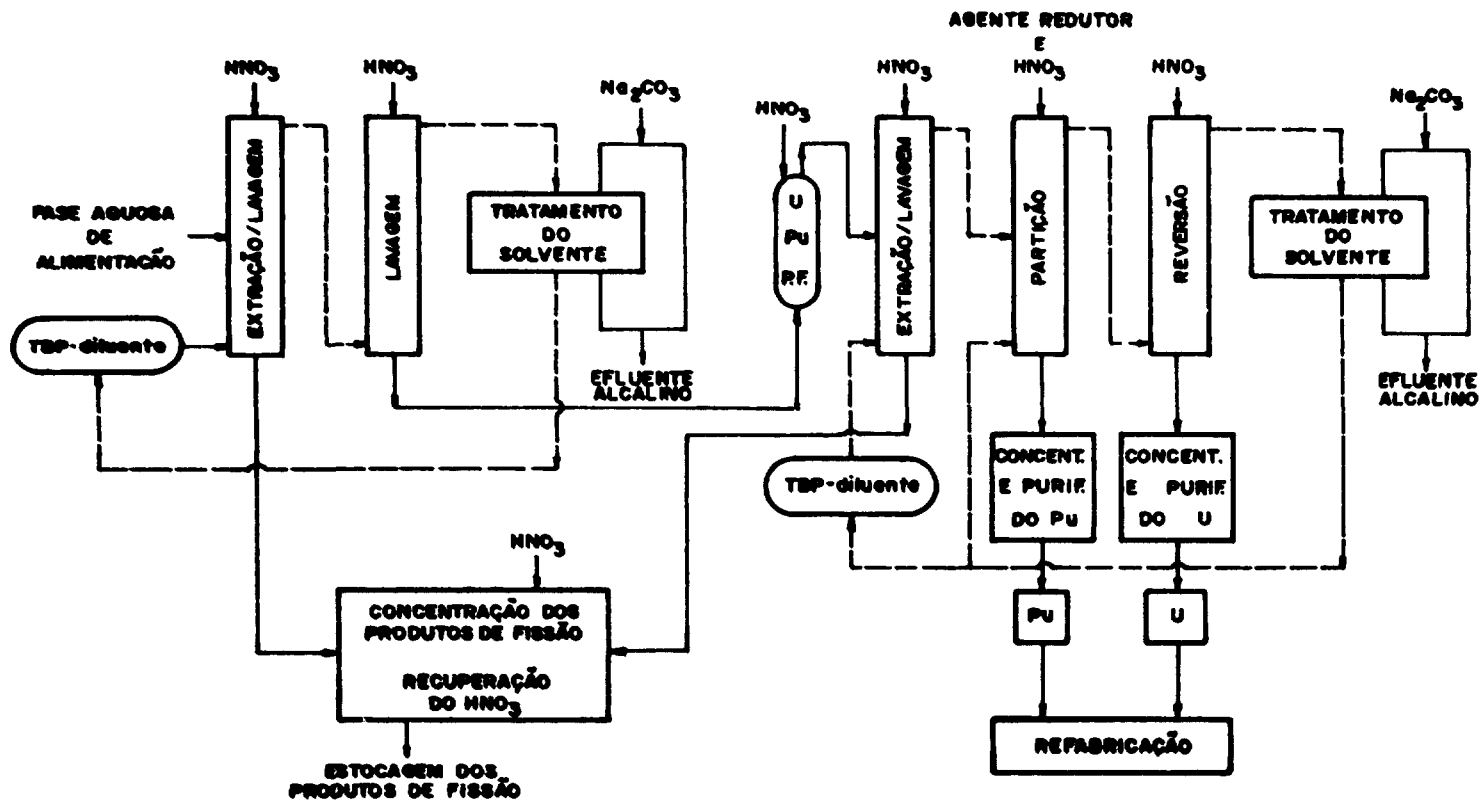


FIGURA 2 - ESQUEMA DO PROCESSO PUREX(1º CICLO) PARA A RECUPERAÇÃO DO URÂNIO E DO PLUTÔNIO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR IRRADIADO .

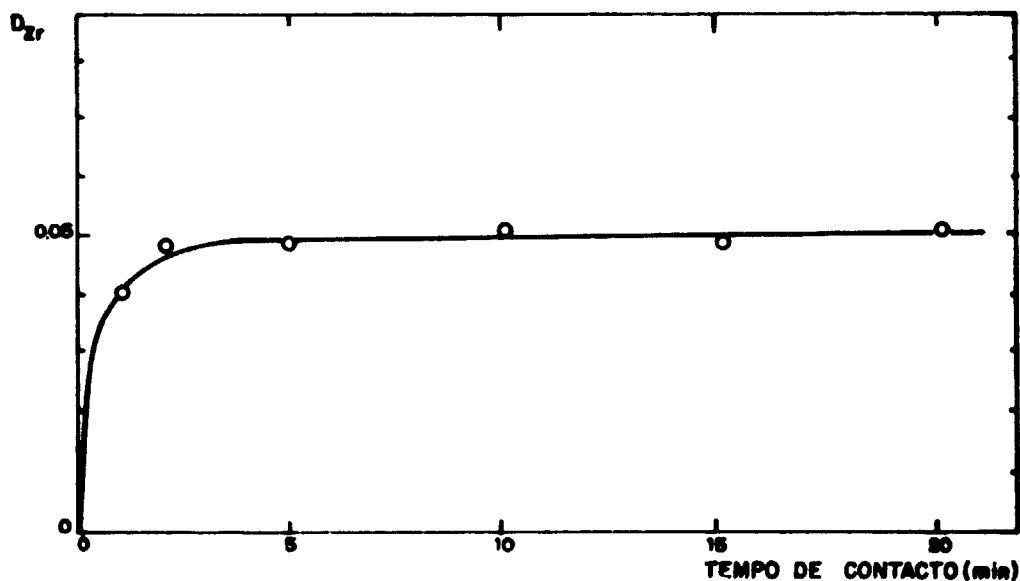


FIGURA 3 - TEMPO DE EQUILÍBIO NA EXTRAÇÃO DO HIDROXINITRATO DE ZIRCÔNIO COM TBP 20% -n- DODECANO.

$[Zr]_A = 5 \cdot 10^{-3} M$, $[H]_A = 3 M$, $R_0^O = 1$, $T = 25^\circ C$, $v = 1500$ rpm.

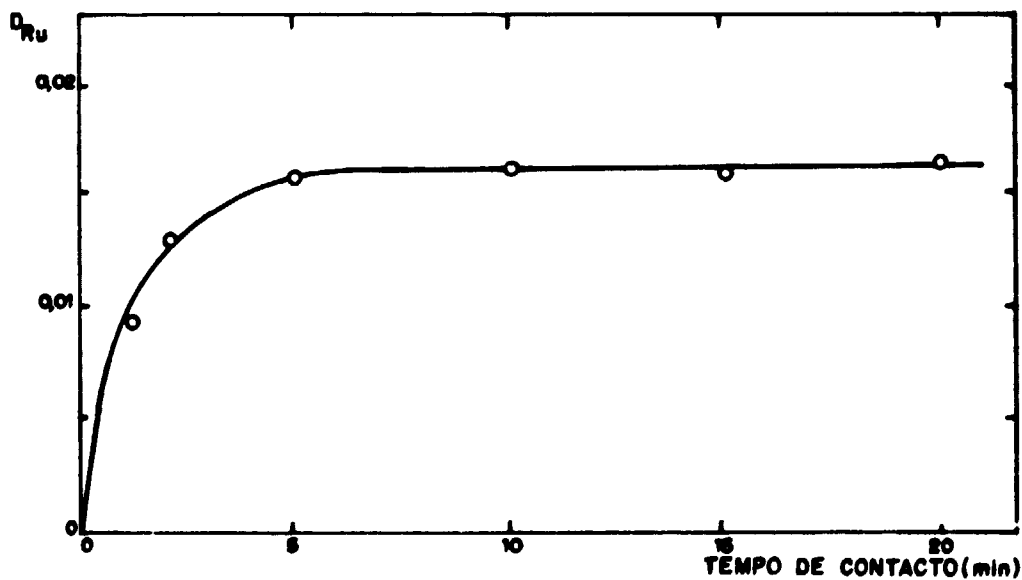


FIGURA 4 - TEMPO DE EQUILÍBIO NA EXTRAÇÃO DOS NITRATOS DE Ru NO³⁺ COM TBP 20% -n- DODECANO.

$[Ru]_A = 4 \cdot 10^{-3} M$, $[H]_A = 3 M$, $R_0^O = 1$, $T = 25^\circ C$, $v = 1500$ rpm.

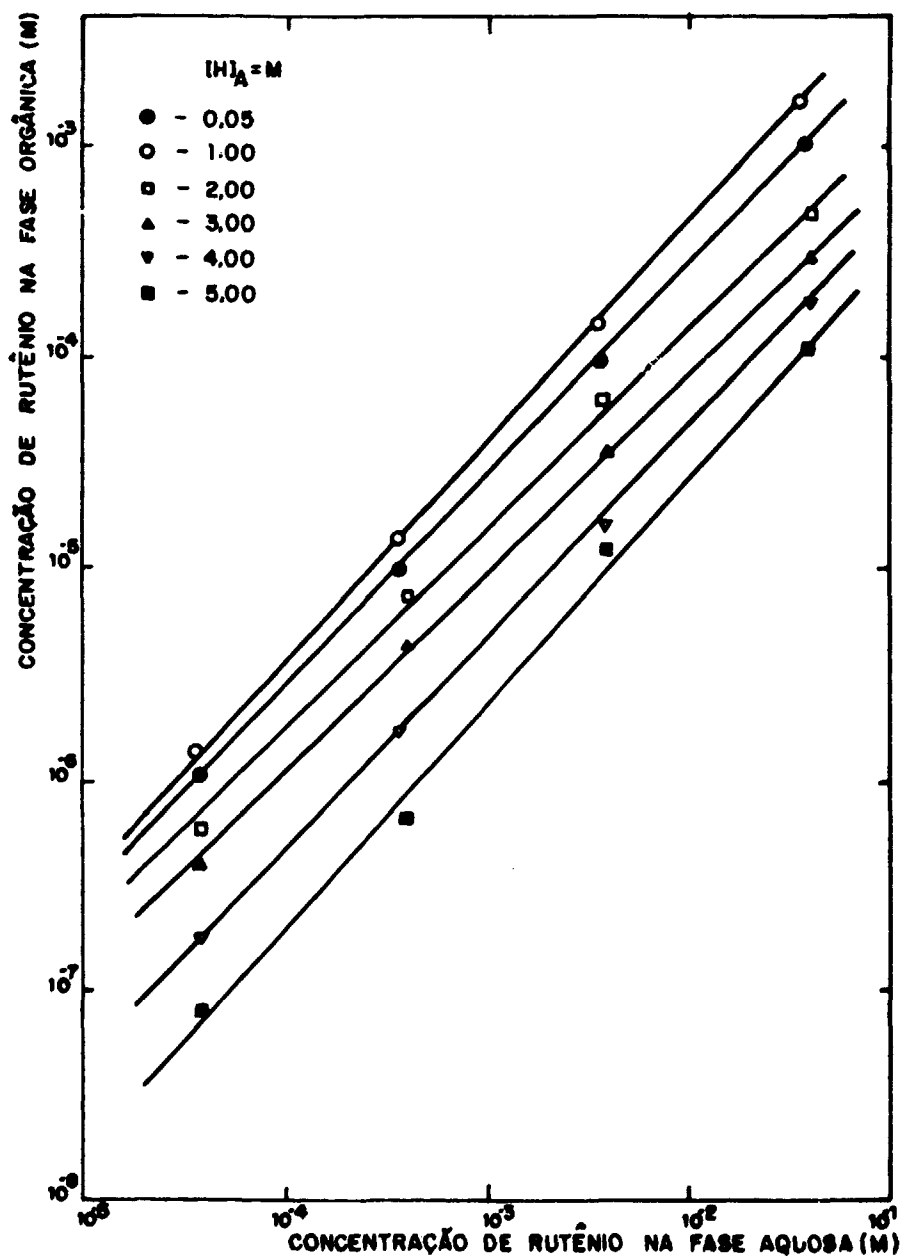


FIGURA 5 - DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO DA EXTRAÇÃO DO RUTÊNIO COM TBP 20% - n - DOUECANO.

$t_c = 5 \text{ min}$; $t_d = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ \text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

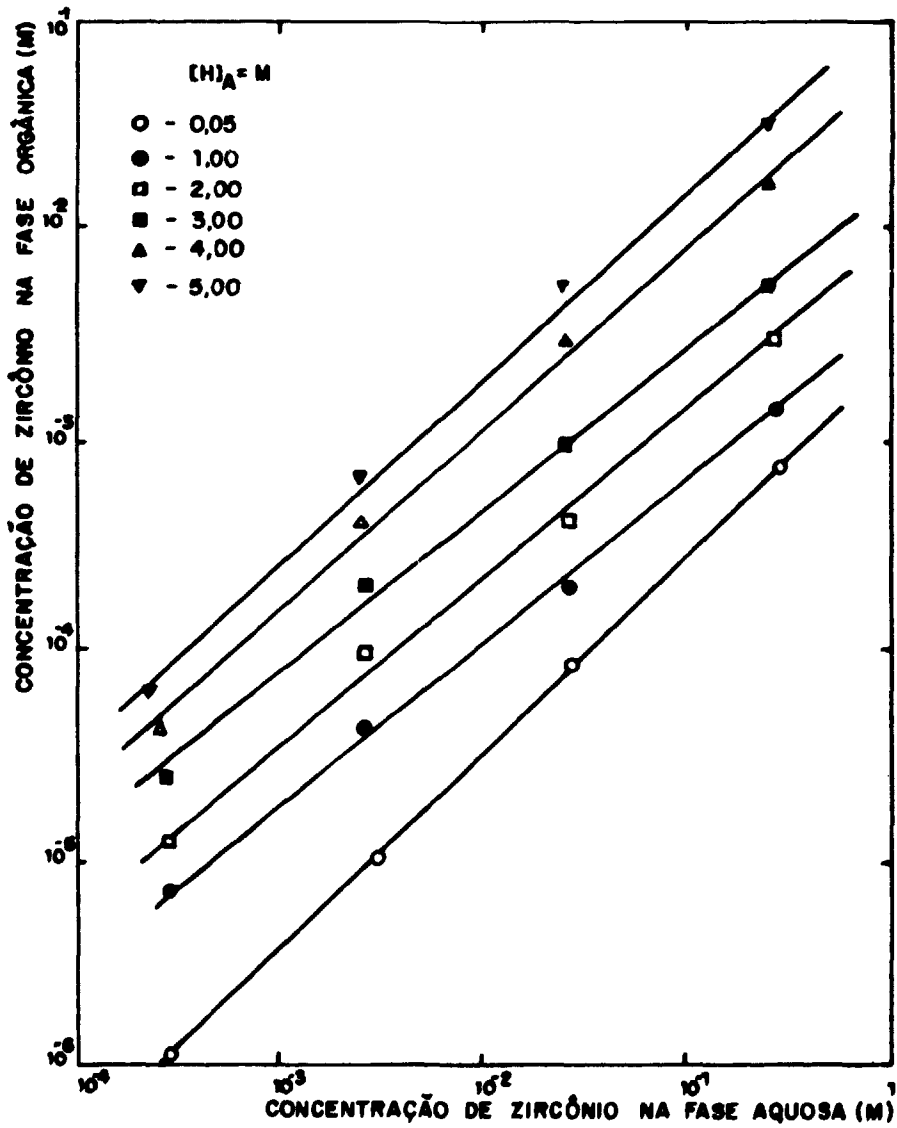


FIGURA 6 - DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO DA EXTRAÇÃO DO ZIRCÔNIO COM TBP 20%-n-DODECANO

$t_c = 5 \text{ min}$; $t_d = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ\text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

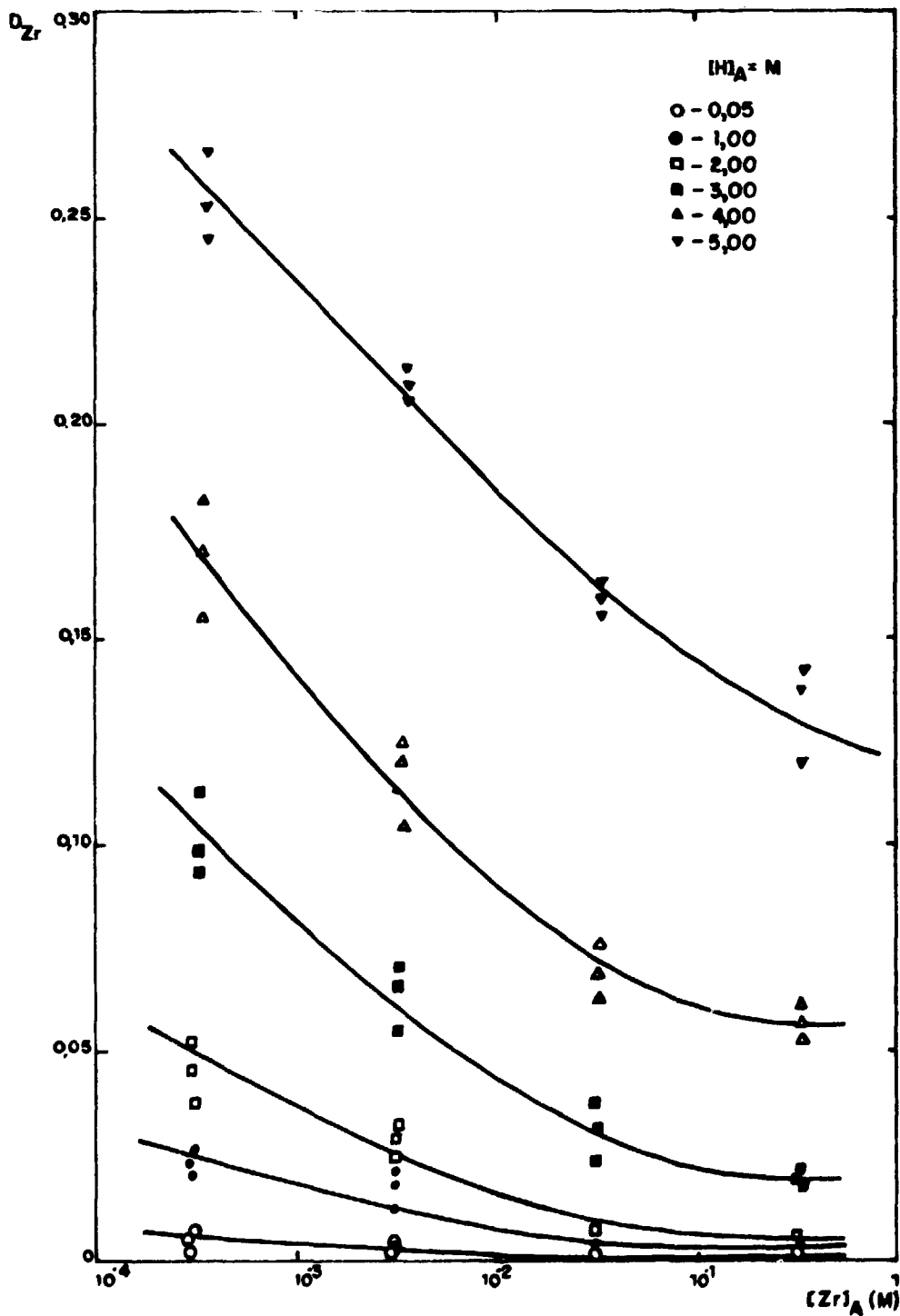


FIGURA 7 - INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE ZIRCÔNIO NA EXTRAÇÃO DO $Zr(OH)_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ COM TBP 20% - n-DODECANO.

$t_c = 5 \text{ min}$; $t_d = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ C$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

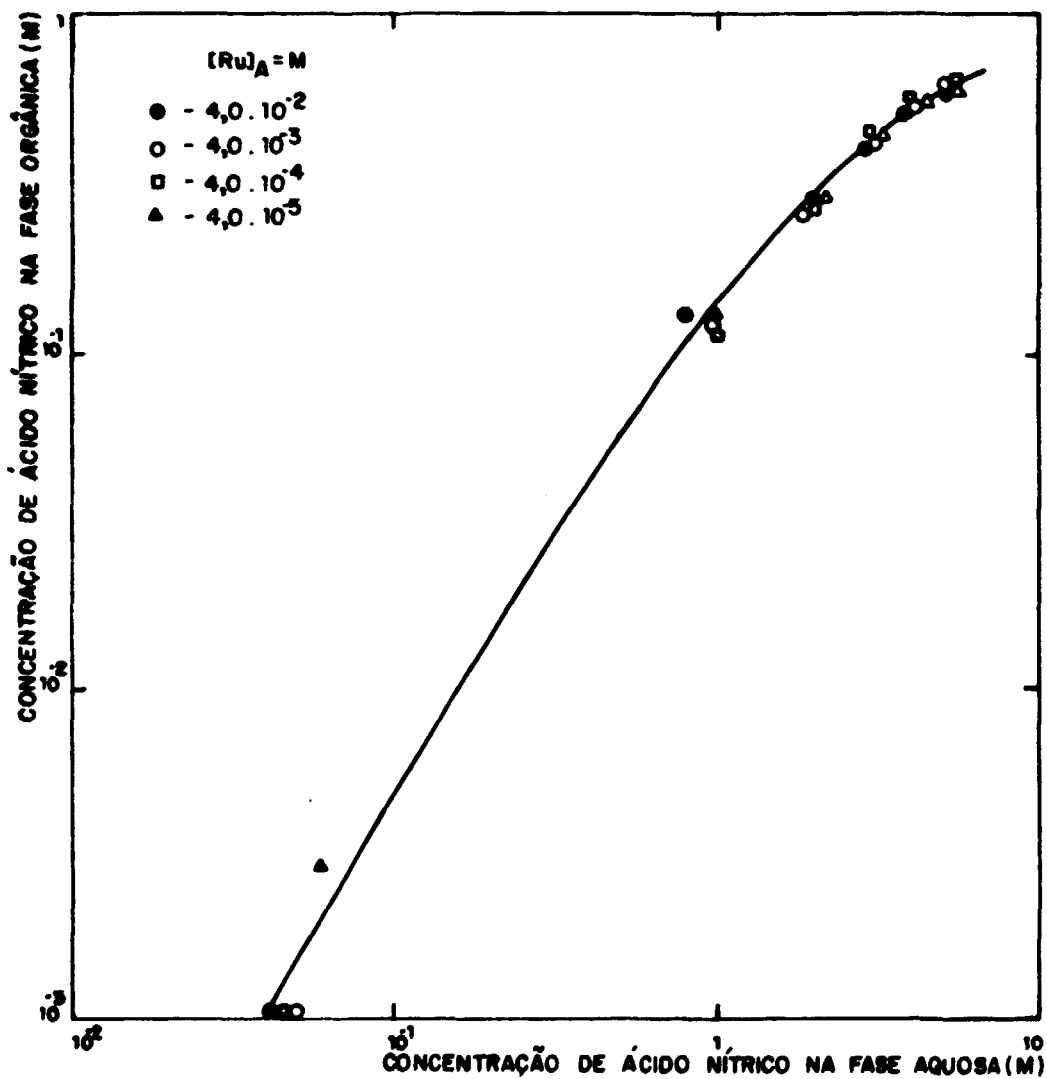


FIGURA 8 - DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO DA EXTRAÇÃO DO ÁCIDO NÍTRICO COM TBP 20% - n-DODECANO EM PRESENÇA DE NITRATOS DE NITROSILRUTÊNIO.

$t_c = 5 \text{ min}$; $t_d = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ\text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$

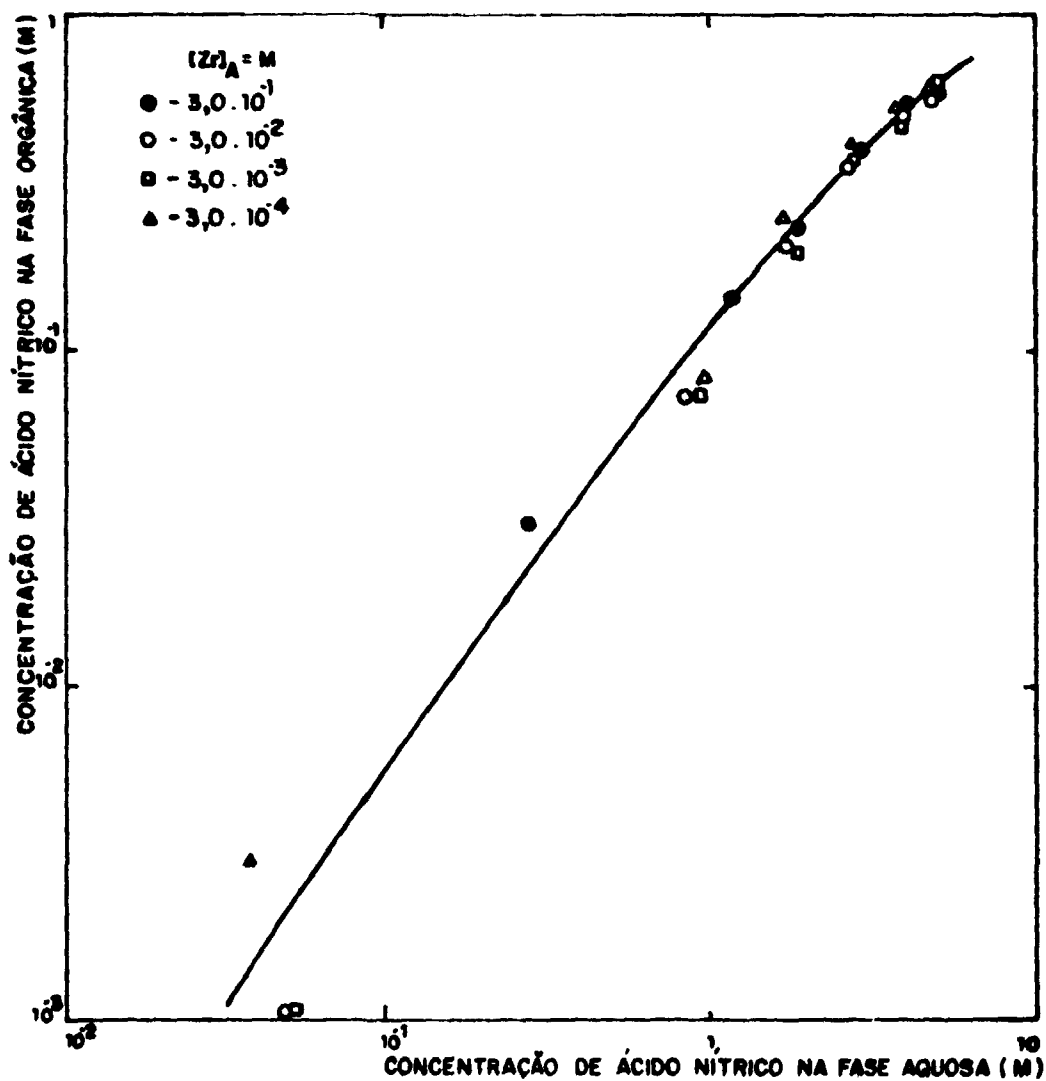


FIGURA 9 - DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO DA EXTRAÇÃO DO ÁCIDO NÍTRICO COM TBP 20% - n-DODECANO EM PRESENÇA DE $Zr(OH)_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$.

$t_c = 5 \text{ min}$; $t_d = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ C$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

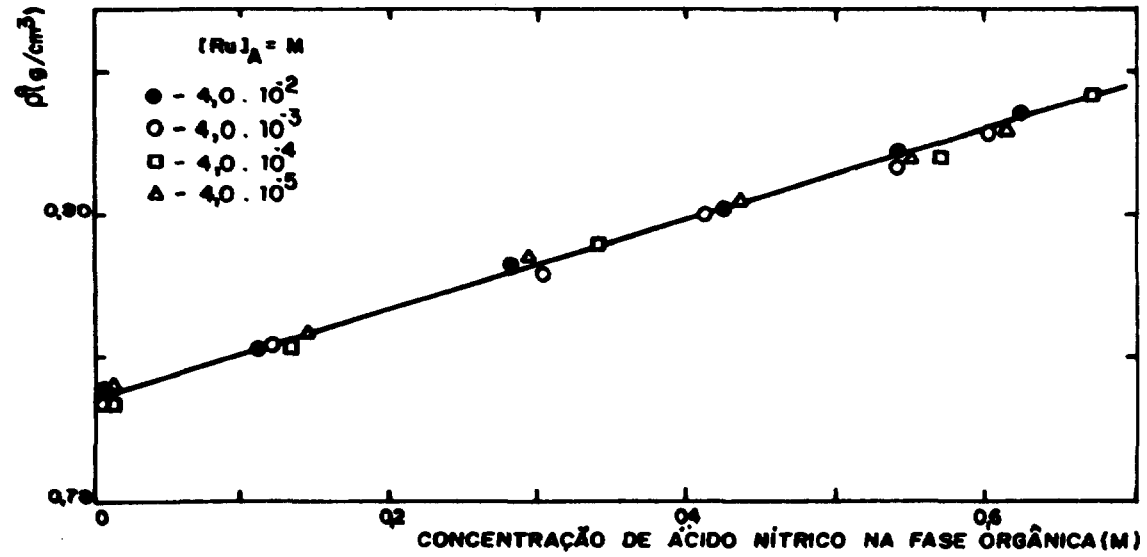


FIGURA 10 - DENSIDADE DA FASE ORGÂNICA APÓS A EXTRAÇÃO DO RUTÊNIO
 CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO: $t_c = 5 \text{ min}$; $t_s = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ\text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

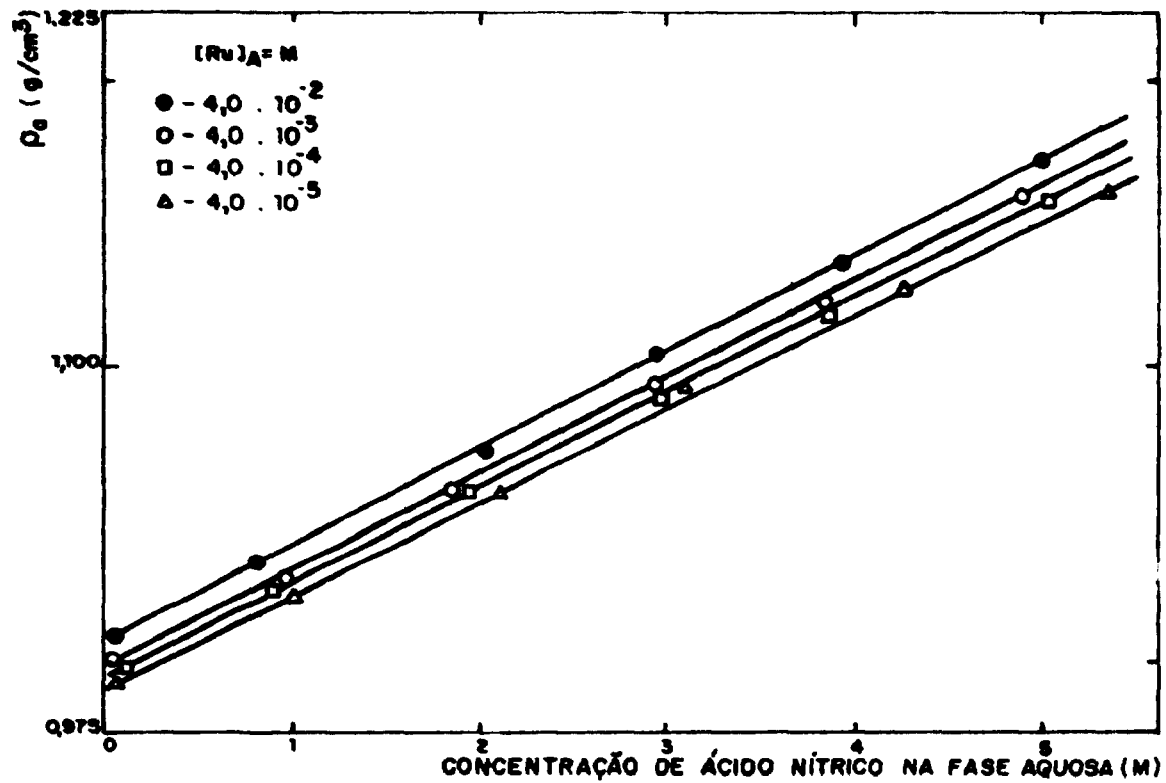


FIGURA 11 - DENSIDADE DA FASE AQUOSA APÓS A EXTRAÇÃO DO RUTÊNIO

CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO : $t_c = 5 \text{ min}$; $t_d = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ\text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$

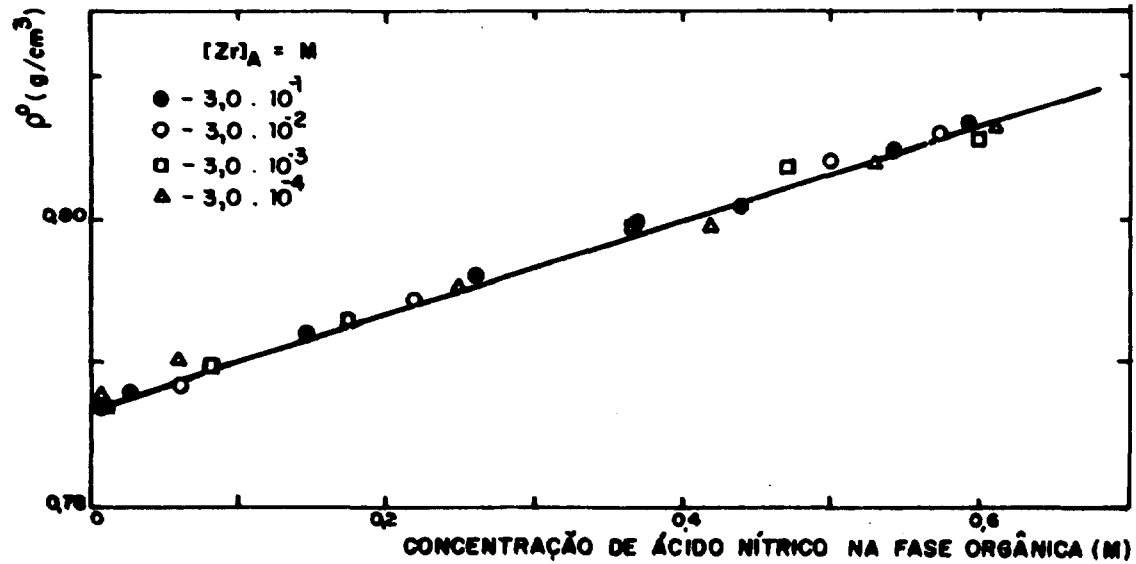


FIGURA 12 - DENSIDADE DA FASE ORGÂNICA APÓS A EXTRAÇÃO DO ZIRCÔNIO.

CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO: $t_c = 5 \text{ min}$; $t_d = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ\text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

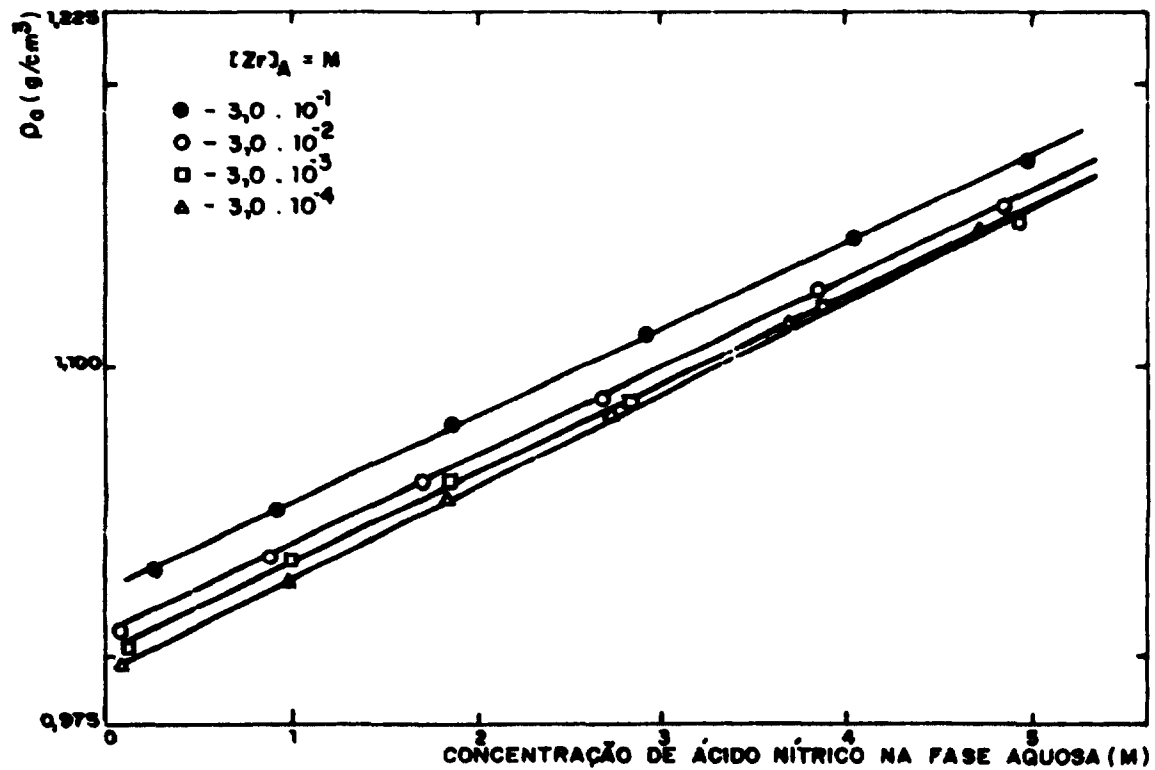


FIGURA 13 - DENSIDADE DA FASE AQUOSA APÓS A EXTRAÇÃO DO ZIRCÔNIO
 CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO: $t_0 = 5 \text{ min}$; $t_1 = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = T = 25^\circ\text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

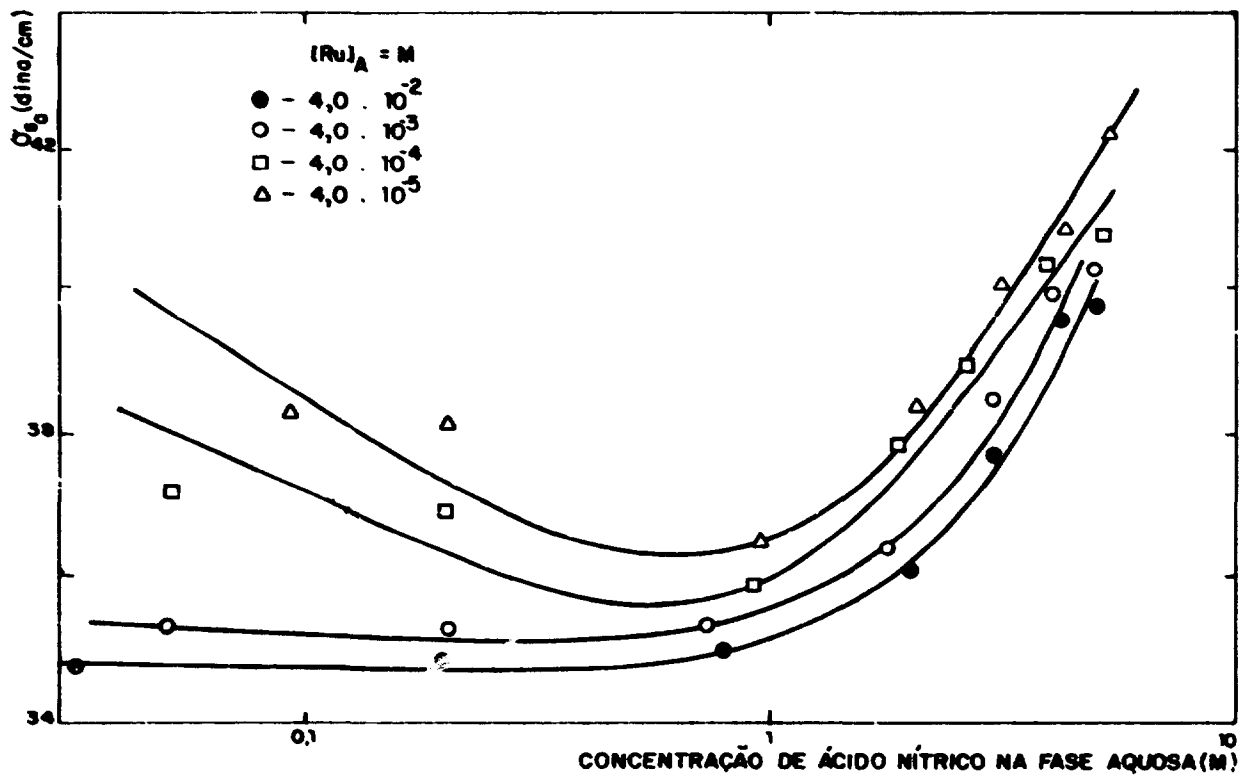


FIGURA 14 - TENSÃO SUPERFICIAL DA FASE AQUOSA APÓS A EXTRAÇÃO DO RUTÊNIO COM TBP 20% · n-DODECANO.

CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO: $t_c = 5$ min; $t_d = 15$ min; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ C$; $v = 1500$ rpm.

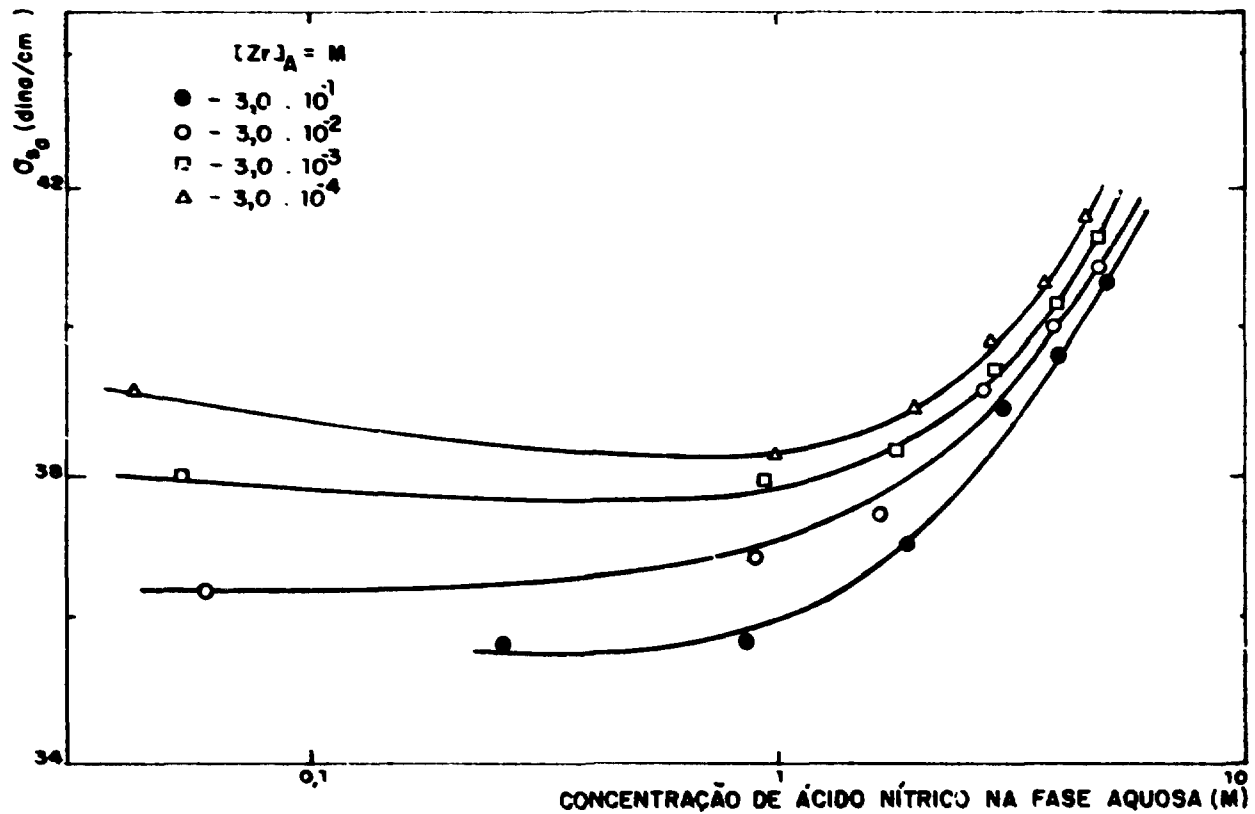


FIGURA 15 - TENSÃO SUPERFICIAL DA FASE AQUOSA APÓS A EXTRAÇÃO DO ZIRCÔNIO COM TBP 20%-*n*-DODECANO.

CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO: $t_c = 5 \text{ min}$; $t_f = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ\text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

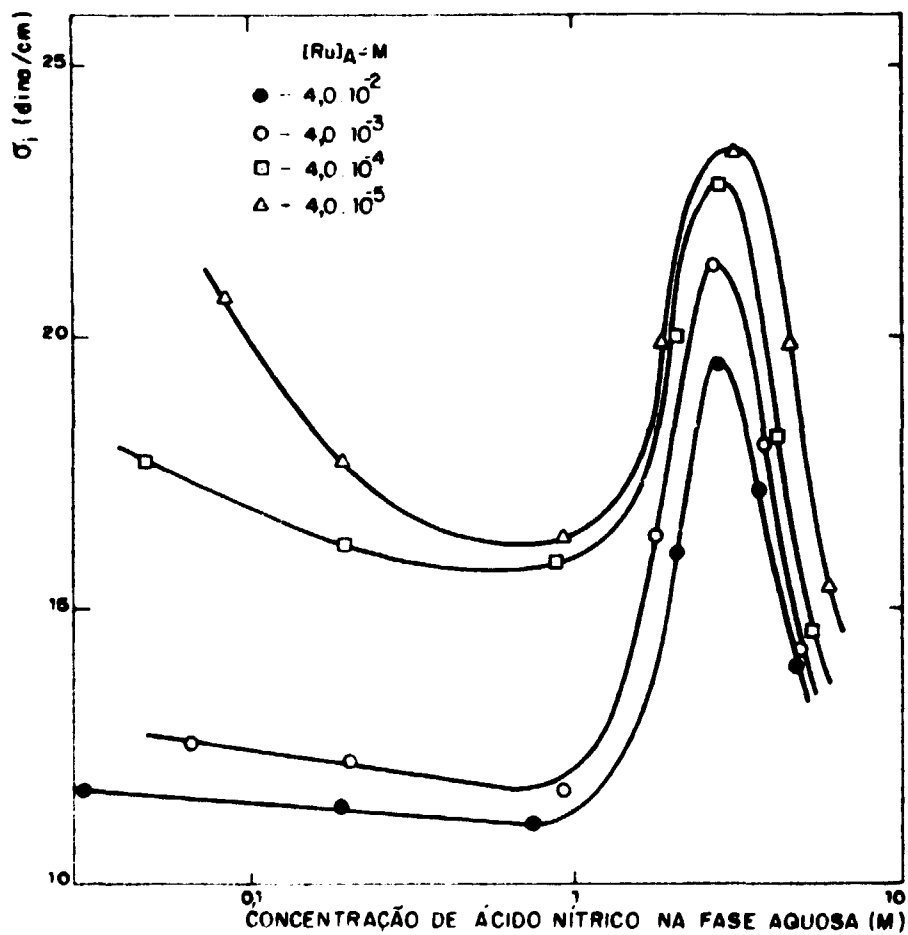


FIGURA 16 - TENSÃO INTERFACIAL APÓS A EXTRAÇÃO DO RUTÊNIO COM TBP 20%-n-DODECANO.

CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO. $t_c = 5$ min ; $t_d = 15$ min ; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ C$,
 $v = 1500$ rpm.

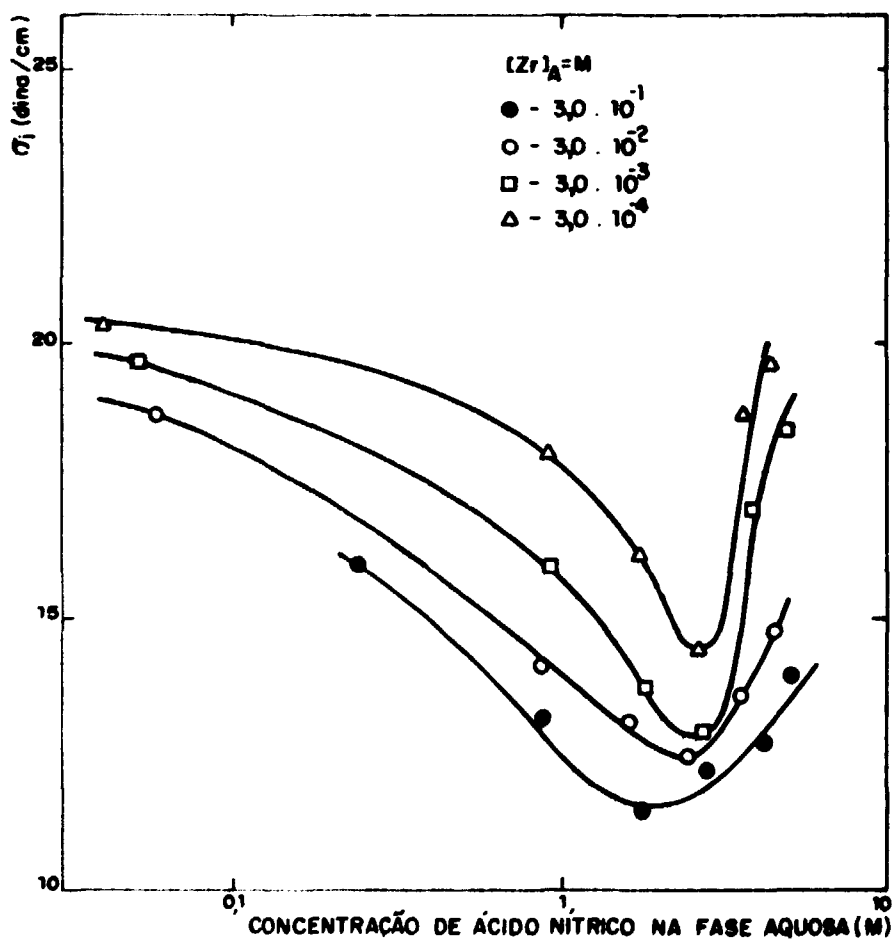


FIGURA 17 - TENSÃO INTERFACIAL APÓS A EXTRAÇÃO DO ZIRCÔNIO COM TBP 20% - n-DODECANO.

CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO: $t_c = 5 \text{ min}$; $t_d = 15 \text{ min}$; $R_0^0 = 1$; $T = 25^\circ\text{C}$; $v = 1500 \text{ rpm}$.

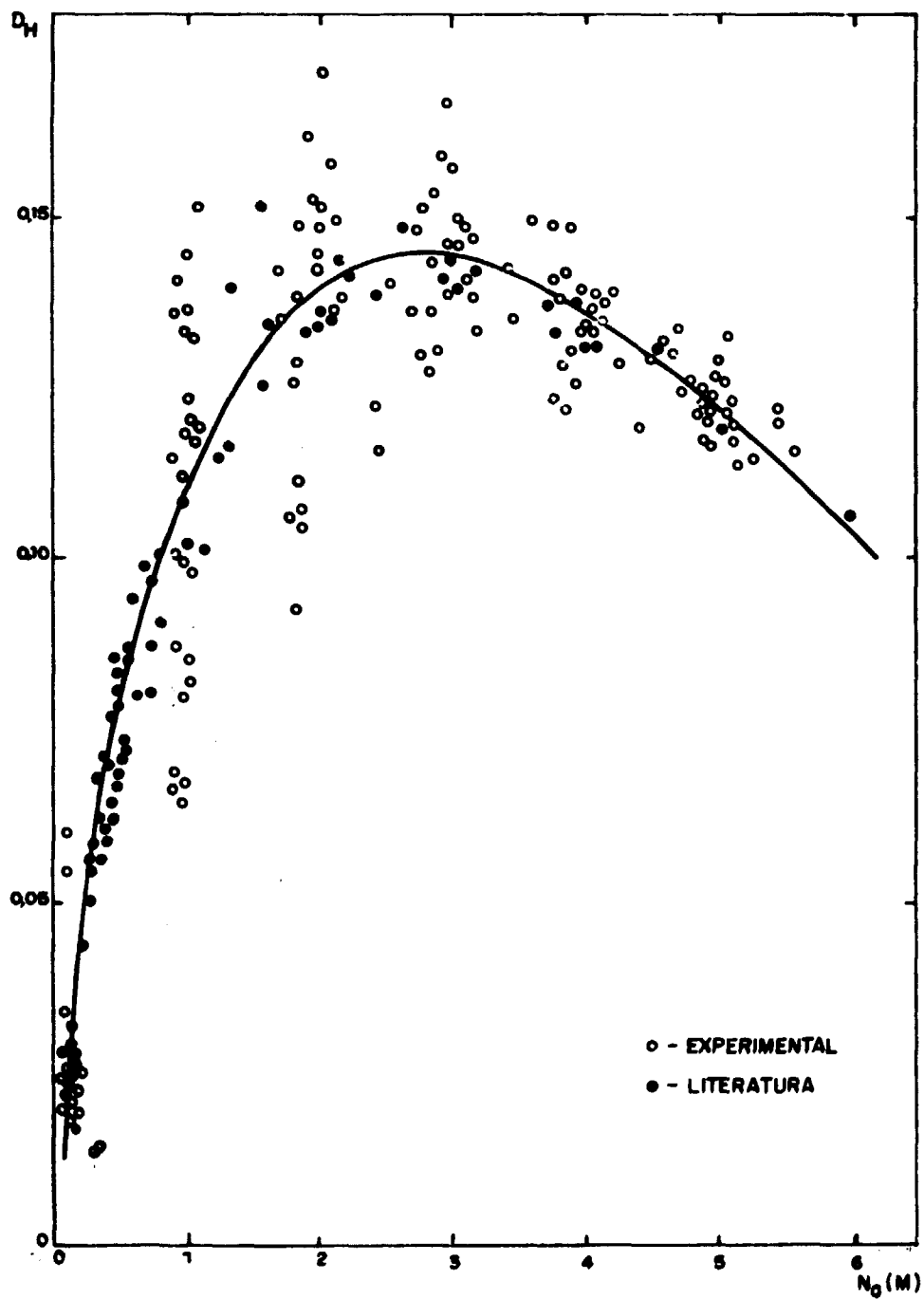


FIGURA 18 - CURVA DA DISTRIBUIÇÃO DO HNO_3 AJUSTADA PELA EQUAÇÃO:
 $D_H = 0,136N_0^{0,531} + 0,209N_0 [TBP]_1$

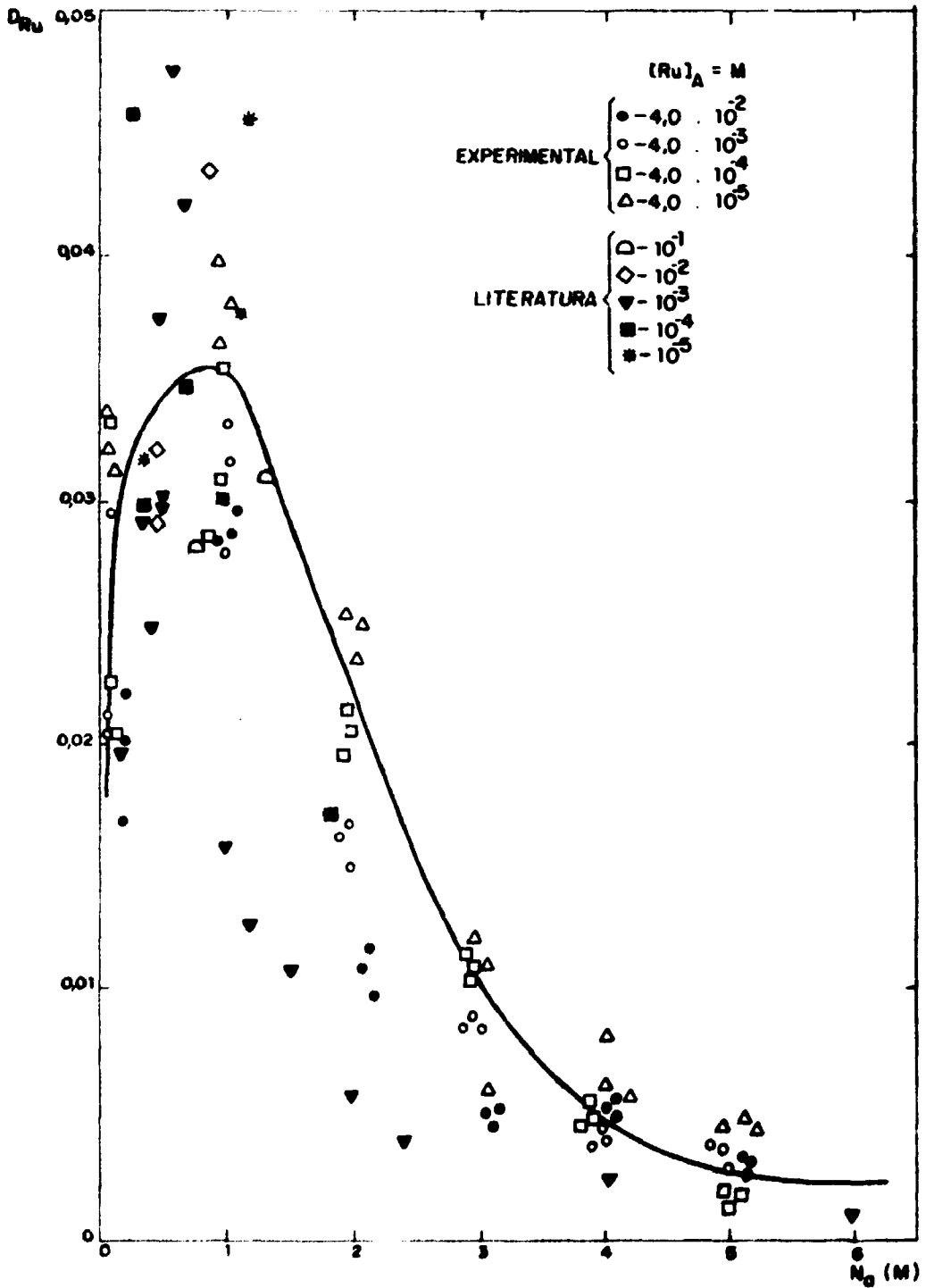


FIGURA 19 - CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DO NITRATO DE $RuNO_3^+$
 AJUSTADA PELA EQUAÇÃO: $D_{Ru} = 0,085 N_0^{0,244} [TBP]_1^2$

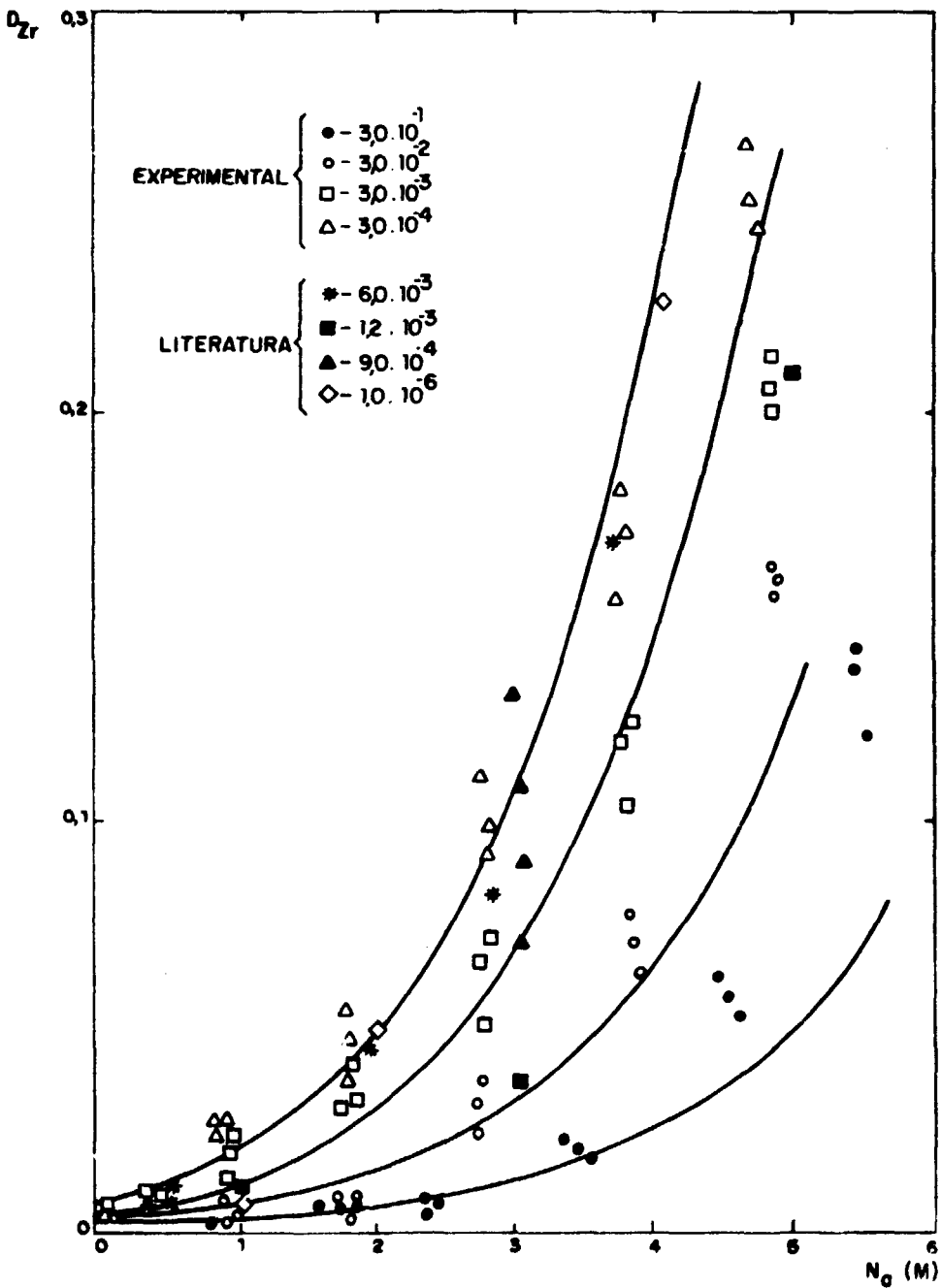


FIGURA 20 - CURVA DA DISTRIBUIÇÃO DO $Zr(OH)_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ AJUSTADA
 PELA EQUAÇÃO: $D_{Zr} = 4,25 \cdot 10^{-4} \frac{[TBP]_0^{1,552} N_0 - 0,031 (\ln [Zr]_0)^2}{[Zr]_0^{0,646}}$