

WALTER BORZANI

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA
FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA
CONTÍNUA DE MOSTO
DE MELAÇO**

Tese apresentada à Comissão Julgadora
do Concurso à Cátedra de Bio-Química
da Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo



São Paulo — 1955

FT-06
283
2.2

DEDALUS - Acervo - EPQI



32000006714

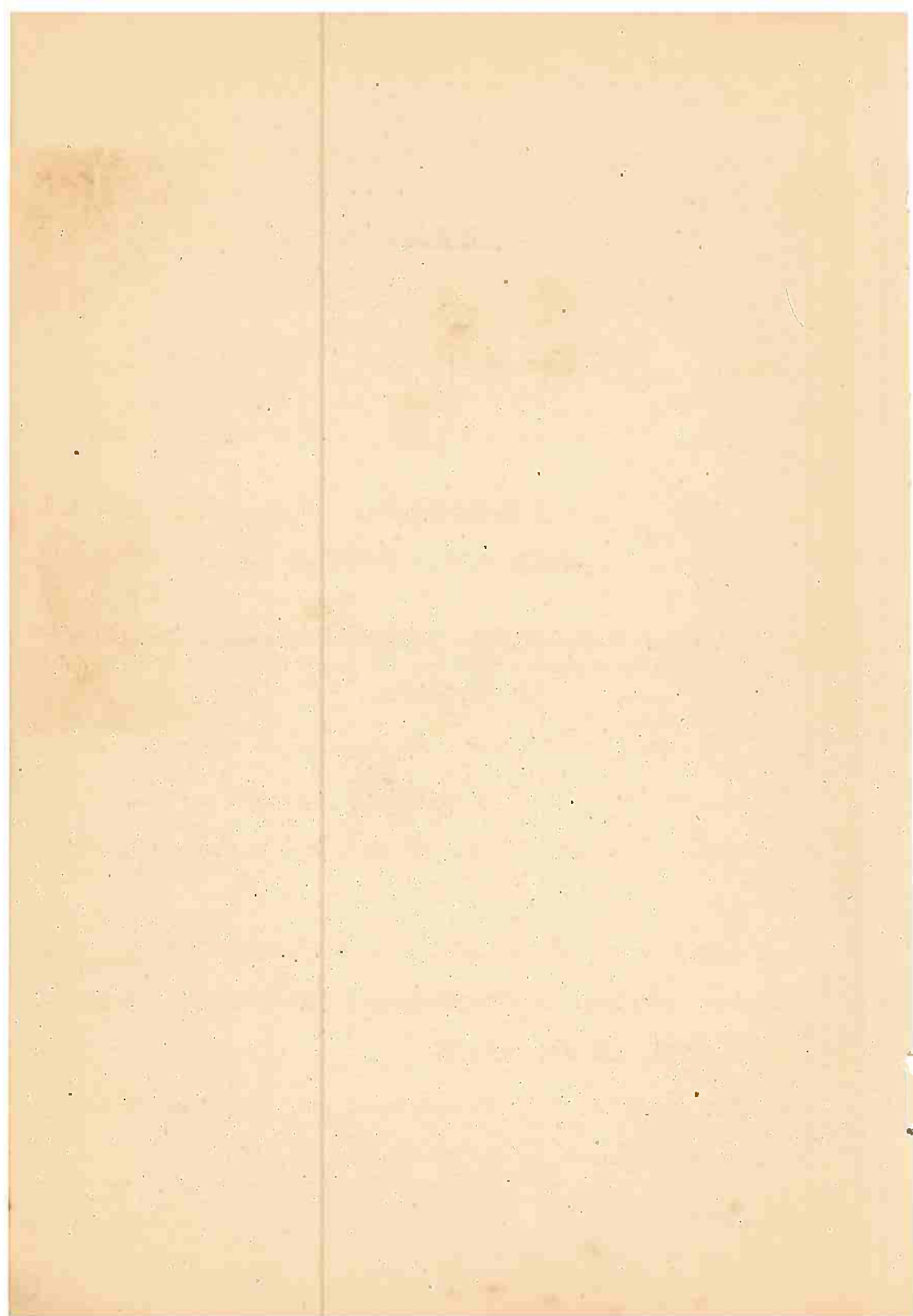
Ao estimado amigo
Prof. Oscar B. Moura
Fonseca cordialmente

W. Borzani
17-10-1955

Ao Professor

RENATO FONSECA RIBEIRO

Iniciador do Curso de "BIOQUÍMICA INDUSTRIAL"
na Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo.



"

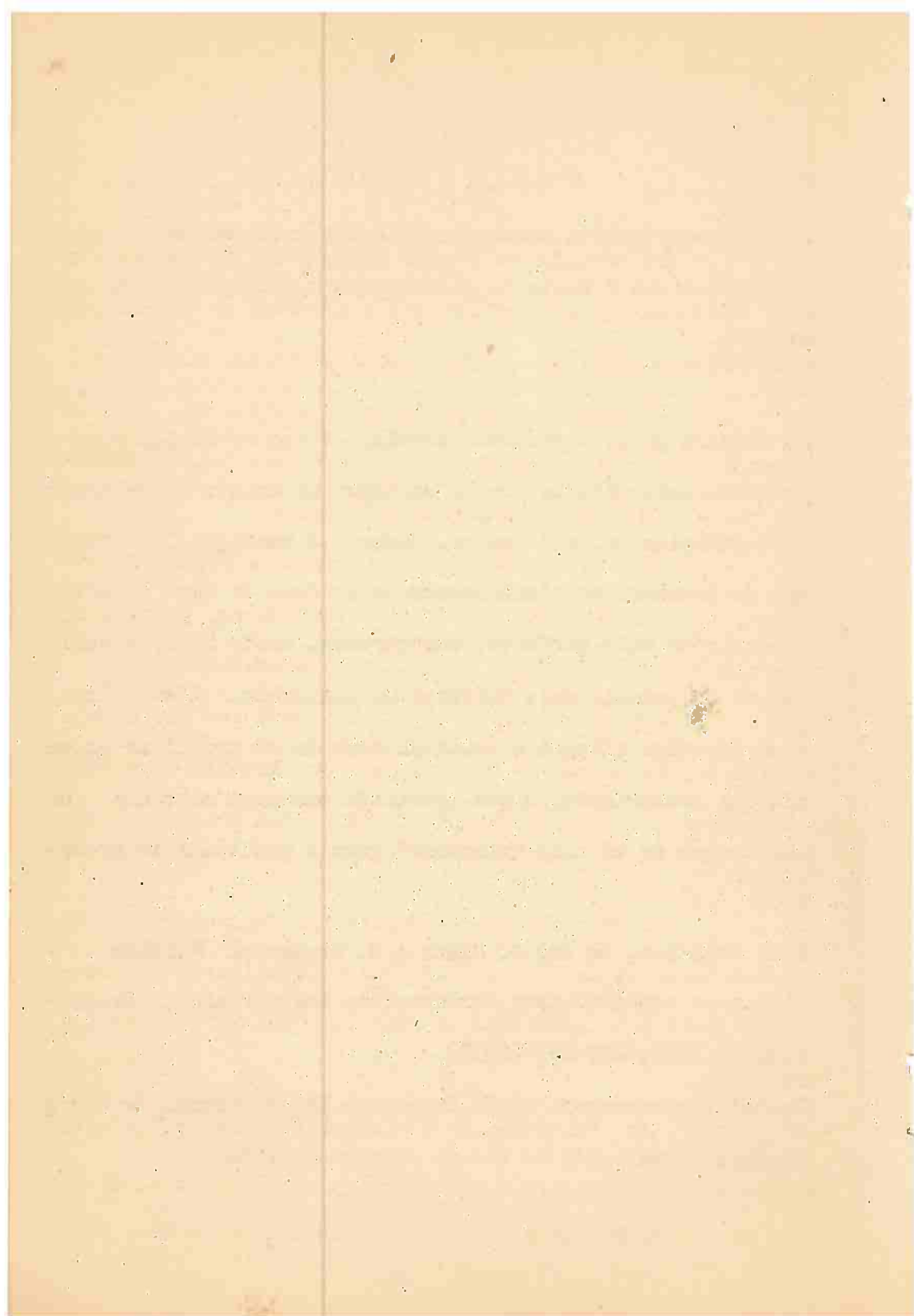
Estas investigações demonstraram que o processo de fermentação contínua é bastante viável para a produção de álcool etílico.

.

De maneira geral o processo contínuo é tão econômico como o processo intermitente, com a vantagem de exigir aparelhagem mais reduzida ou, pelo menos, menor. A vantagem indiscutível do processo contínuo baseia-se no fato de ser possível um controle mais perfeito, assegurando, deste modo, a obtenção de um produto mais uniforme em qualidade. Além disso, esse processo elimina a possibilidade de se trabalhar em um sistema contaminado, o que constitui vantagem marcante na manutenção de um alto "standard" para a qualidade do produto."

Paul Kolachov, Le Roy A. Smith e H. Frederick Willkie -
"Processo contínuo para fermentações industriais", Bragan-
tia, 10 (10), 287-299 (1950).

Trabalho apresentado ao Vº Congresso Internacional de Micro-
biologia, realizado no Rio de Janeiro em 1950.



A G R A D E C E M O S

À Diretoria da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelas facilidades concedidas à realização de nossas experiências e à publicação de nossas conclusões.

Ao Instituto do Açúcar e do Alcool, na pessoa de seu Delegado Regional, Sr. Nilo Area Leão, pelas subvenções que em muito auxiliaram nossos ensaios.

Aos Professores Walter P. Leser e Miguel Falcone que, com a boa vontade que lhes é costumeira, prontificaram-se a discutir diversos pontos deste trabalho.

Aos funcionários da Oficina Mecânica da Escola Politécnica, na pessoa de seu ex-chefe Sr. Antônio Covelli, pela presteza e eficiência com que atenderam nossas solicitações.

Ao Sr. Helio Pucci Engelberg, funcionário da Oficina Mecânica da Escola Politécnica, atualmente trabalhando junto à Usina-Pilôto de Alcool, pela sua valiosa contribuição.

Aos funcionários do Laboratório de Bioquímica da Escola Politécnica, Sr. Acacio Alves de Lima, Sta. Eleonora Credidio, D. Maria de Lourdes Guedes Dutra e Sr. Can-

dido Inocente, sempre prontos a colaborar nas mais diversas tarefas.

A D. Mafalda Marino Gonzalez, que gentilmente nos auxiliou nos serviços de impressão desta Tese.

Finalmente, a todos aqueles que menos diretamente, porém, não menos valiosamente, nos socorreram nas inúmeras dificuldades sempre presentes em trabalhos experimentais.

I N T R O D U Ç Ã O

Desde a apresentação de "Fermentação alcoólica contínua de mosto de melaço" (1), em 1952, poucos trabalhos foram publicados relativos ao problema da fermentação contínua ou a problemas correlatos; e nenhum deles trata do estudo que iniciámos há alguns anos, qual seja o da fermentação alcoólica contínua de mosto de melaço em uma única dorna.

Parecendo-nos desnecessário fazer referência às publicações já citadas em nossa Tese de Concurso à Docência Livre (1), mencionaremos apenas as que se nos depararam a partir daquela data.

Uma patente concedida na Índia (Patente nº 43542, 3 de setembro de 1952) (2) faz referência a um processo contínuo de fermentação realizado em colunas contendo pedrapomes impregnada de leveduras. Parece haver semelhança entre este processo e o apresentado por M. SREENIVASAYA e S. R. ASWATHANARAYANA RAO (3) em 1950, no Congresso Internacional de Microbiologia (Rio de Janeiro).

Uma patente russa em nome de A.L. MALCHENKO e

M. P. CHISTIAKOV (Patente nº 77813, 31 de dezembro de 1949) (4) aponta um novo sistema de fermentação contínua usando três dornas.

MELONI, no segundo volume de sua obra "L'Industria dell'alcole" (5), quando trata dos processos contínuos de fermentação, não faz referência alguma ao que nos interessa. Cita, como tendo aplicação industrial, apenas o que utiliza diversas dornas, por êle denominado Sistema Guillaume-Égrot e Grangé, associado ou não ao processo de Melle-Boinot para recuperação de levedura.

Uma Comissão designada pelo Sindicato Francês de Destiladores Agrícolas publicou um relatório (6) onde mostra que a fermentação contínua de suco de beterrabas é mais vantajosa que a descontínua.

MARILLER e colaboradores (7) mostraram também as vantagens da fermentação contínua sobre a fermentação por cortes, quando a matéria prima é mosto de beterrabas.

Finalmente, em trabalho publicado por E. M. KOSENKO (8) são apresentadas as vantagens da fermentação contínua na fabricação de vinho.

Não havendo, pois, até o presente momento, um estudo sistemático da influência de fatores diversos na fer

mentação alcoólica contínua de mosto de melaço em uma só dorna, pretendemos iniciá-lo com o presente trabalho.

Os principais fatores que poderíamos considerar são:

- 1 - concentração de açúcares no mosto;
- 2 - vasão de alimentação do mosto;
- 3 - agitação do material durante a fermentação;
- 4 - capacidade da dorna;
- 5 - concentração de outras substâncias nutritivas que não os açúcares;
- 6 - presença de desinfetantes;
- 7 - concentração de leveduras;
- 8 - espécie e tipo da levedura utilizada;
- 9 - forma da dorna.

A finalidade desta publicação é apresentar os resultados a que chegámos no estudo da influência dos quatro primeiros desses fatores, isto é, concentração de açúcares no mosto, vasão de alimentação do mosto, agitação do material durante a fermentação e capacidade da dorna.

Dividiremos a exposição que se segue em quatro capítulos. No primeiro capítulo relataremos as experiências que realizámos, sem agitação, em instalação semi-pilô-

to, isto é, lançando mão de uma dorna de 100 litros de capacidade útil. No segundo capítulo mostraremos os resultados de experiências levadas a efeito, sem agitação, em instalação piloto constituída essencialmente por uma dorna de 1.800 litros de capacidade útil. O objetivo do terceiro capítulo é verificar a influência da agitação na fermentação contínua e, finalmente, no quarto capítulo, resumiremos as conclusões a que fomos conduzidos pelos resultados das experiências realizadas. Seguir-se-á um Apêndice, em que apontaremos os processos analíticos utilizados.

Cumprе esclarecer, inicialmente, que, por "experiências sem agitação", nos referimos a experiências realizadas sem o emprêgo de agitadores. Evidentemente, existirá sempre um estado de agitação provocado pelo desprendimento do gás carbônico que se forma durante a fermentação.

Em seguida, parece-nos aconselhável justificar a orientação geral dada à realização dêste trabalho, isto é, o motivo da escolha dos quatro fatores já indicados, os critérios adotados na fixação dos demais fatores, e o planejamento das experiências.

Dos nove fatores apontados anteriormente, e que de um modo ou de outro podem influir na fermentação alcoóli

ca contínua de mosto de melaço em uma só dorna, os quatro primeiros parecem ser os mais importantes. Por êste motivo foram êles escolhidos para a apresentação de um trabalho cuja finalidade é, como já o dissemos anteriormente, iniciar o estudo sistemático da influência de fatores diversos neste processo fermentativo.

No que diz respeito à fixação dos outros cinco fatores, procedemos da seguinte maneira:

- a) concentração de outras substâncias nutritivas que não os açúcares: é êste, sem dúvida, um dos fatores que maiores dificuldades apresenta em sua fixação. O fato de termos trabalhado com melaço de uma só origem (Usina Bom Jesus), se bem que de duas partidas diferentes, nos autoriza contudo a estabelecer comparações entre os valores encontrados em nossas experiências. A correção do mosto no seu conteúdo em fósforo e magnésio só foi realizada na instalação semi-piloto, pela adição de dihidrogênio-fosfato de potássio (1,0 g/l) e de sulfato de magnésio (0,25 g/l). Por faltade material não foi possível corrigir o mosto destinado às fermentações em escala piloto. Pelo mesmo motivo, e em ambos os casos, não foi feita a correção do teor de nitrogênio.

- b) presença de desinfetantes: exceção feita das experiências n.ºs 18 e 19 (Capítulo I), e 21 e 22 (Capítulo II), não adicionámos desinfetantes ao mosto destinado à fermentação.
- c) levedura utilizada: o mosto destinado à fermentação foi sempre inoculado com "fermento Fleischmann" recentemente adquirido; êsse "fermento" é empregado em muitas de nossas destilarias, com ótimos resultados.
- d) concentração de leveduras: nas diversas experiências realizadas, garantimos uma concentração inicial de células aproximadamente constante, e suficiente para provocar fermentações normais, inoculando cada litro de mosto com 10 g de "fermento Fleischmann" (9 e 17).
- e) forma da dorna: trabalhámos com dornas cilíndricas e de fundo cônico, por ser esta a forma industrialmente mais aconselhável. As duas dornas utilizadas em nossas experiências são geomètricamente semelhantes.

Resta-nos finalmente justificar o planejamento das experiências. Não era possível, antes da realização dês te trabalho, estabelecer um planejamento completo para o estudo dos quatro fatores agindo concomitantemente, uma vez que não conhecíamos, mesmo aproximadamente, os valores que as

diversas variáveis poderiam assumir. Só agora estamos em condições de fazê-lo. Os resultados a que chegámos justificam plenamente o prosseguimento dos estudos nêsse sentido.

C A P Í T U L O I

EXPERIÊNCIAS SEM AGITAÇÃO EM INSTALAÇÃO SEMI-PILÔTO

A aparelhagem utilizada na realização destas experiências acha-se esquematizada nas Figuras 1 e 2. Consta essencialmente de um tanque de diluição de 200 litros, de ferro galvanizado, munido de agitador e bomba; dêste tanque, o mosto preparado pode ser enviado ou à dorna de fermentação ou ao tanque de alimentação, ambos de ferro e com capacidade de 100 litros cada um. O tanque de alimentação, dotado de visor graduado, descarrega o mosto em uma caixa de ferro de 5 litros, onde o nível é mantido constante com auxílio de uma bóia. Desta caixa o mosto passa por um tubo de vidro, cujo diâmetro determina a vazão de alimentação, e cai no funil que o conduz ao fundo da dorna. A dorna possui dispositivo externo de refrigeração; o aquecimento, quando necessário, pode ser realizado com auxílio de um aquecedor doméstico de imersão mergulhado em água contida em um cilindro de ferro que, por sua vez, mergulha no líquido da dorna.

O melaço que serviu de matéria prima para o pre

paro do mosto apresentava um teor de açúcares redutores totais (abreviadamente A.R.T.) igual a 47,7%. E' preciso salientar que êsse melaço encontrava-se bastante contaminado, provavelmente por bactérias responsáveis por fermentações láctica ou/e butírica, resultando assim mosto de acidez relativamente elevada. A existência dessas contaminações foi bem observada durante os trabalhos realizados na instalação piloto, como teremos oportunidade de relatar no Capítulo II.

As experiências foram efetuadas obedecendo à seguinte linha geral de operações:

1ª - Preparar 100 litros de mosto, de concentração adequada, diluindo melaço em água potável no tanque de diluição; adicionar, à solução resultante, sulfato de magnésio(0,25 g/l) e dihidrogênio-fosfato de potássio.... (1,0 g/l).

2ª - Preparar uma suspensão de 1 Kg de "fermento Fleischmann" em aproximadamente 10 litros dêsse mosto, despejando-a na dorna. Partindo sempre de 1 Kg de "fermento", podemos garantir uma concentração inicial de leveduras aproximadamente constante (9).

Fig. 1
ESQUEMA DA INSTALAÇÃO SEMI-PILOTO

Escala 1:20
Canalizações de 1/2"

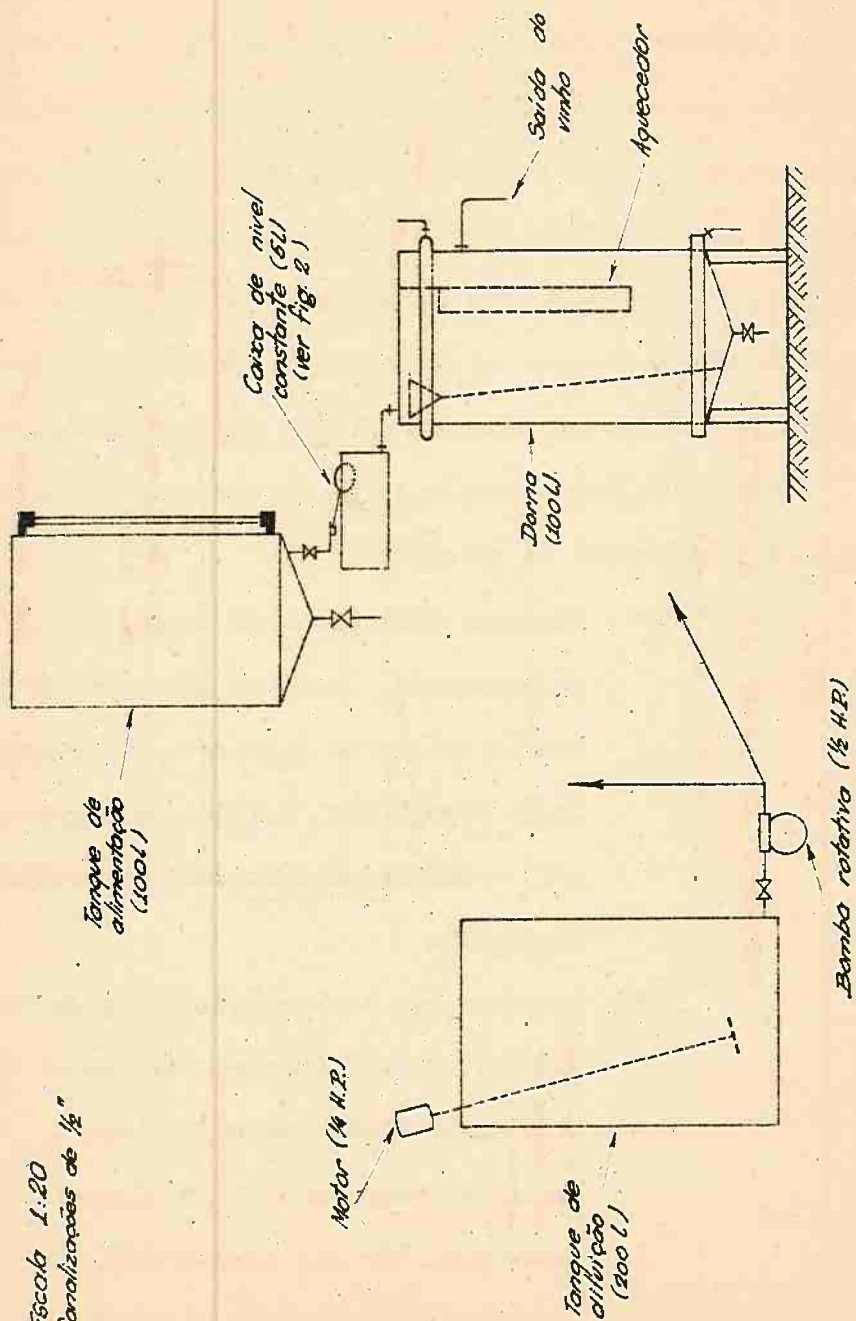
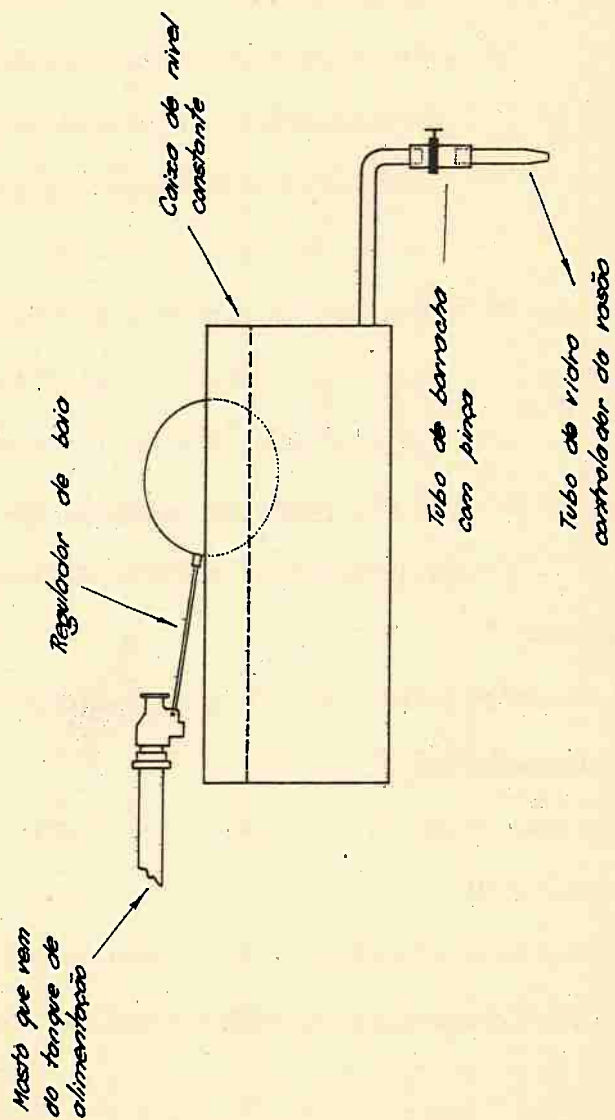


FIG. 2
REGULADOR DA VASÃO DE ALIMENTAÇÃO
(INSTALAÇÃO SEMI-PILOTO)



Escala 1:5

3º - Com auxílio da bomba introduzir o resto do mosto na dorna, e esperar o término da fermentação.

4º - Preparar mosto como indicado no item 1º, transportá-lo ao tanque de alimentação e iniciar a alimentação da dorna através da caixa de nível constante.

5º - Uma vez terminada a experiência, lavar cuidadosamente todo o material.

O mosto indicado no item 1º será chamado mosto inicial; o do item 4º, mosto de alimentação.

Em cada experiência foram efetuadas as seguintes medidas:

- a) densidade relativa, A.R.T. e acidez dos mostos inicial e de alimentação;
- b) densidade relativa e temperatura do material durante a fermentação;
- c) acidez, teor alcoólico e densidade relativa de amostras de vinho recolhidas durante a fase de fermentação contínua;
- d) contrôles periódico da vasão de alimentação do mosto.

Além dessas medidas, a observação visual do ma-

terial retirado da dorna era sempre de grande auxílio durante a realização do trabalho.

Passaremos agora a expor as experiências de que trata este Capítulo, dividindo-as em três grupos, conforme a concentração de açúcares redutores totais no mosto.

PRIMEIRO GRUPO DE EXPERIÊNCIAS

(A.R.T. no mosto $\approx$ 100 g/l)

Experiência nº 1

Mosto inicial: A.R.T. = 101 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,0 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 105 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,0 g/l

Vasão de alimentação = 8,8 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 11 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 3)

Experiência nº 2

Mosto inicial: A.R.T. = 104 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,0 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 103 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,0 g/l

Vasão de alimentação = 6,1 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 16 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 4)

Experiência nº 3

Mosto inicial: A.R.T. = 100 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,0 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 105 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Vasão de alimentação = 5,6 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 18 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 5)

Experiência nº 4

Mosto inicial: A.R.T. = 100 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 98 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Vasão de alimentação = 4,9 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 20 h

Resultado: fermentação completa (ver Figura 6)

Experiência nº 5

Mosto inicial: A.R.T. = 106 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 102 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Vasão de alimentação = 4,7 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 21 h

Resultado: fermentação completa (ver Figura 7)

Experiência nº 6

Mosto inicial: A.R.T. = 92 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 94 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Vasão de alimentação = 4,4 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 23 h

Resultado: fermentação completa (ver Figura 8)

Experiência nº 7

Mosto inicial: A.R.T. = 105 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,0 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 101 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Vasão de alimentação = 3,5 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 29 h

Resultado: fermentação completa (ver Figura 9)

Resultado geral do Primeiro Grupo de Experiências (ver Tabela I): nas condições já especificadas, é possível conseguir fermentação contínua completa de um mosto que apresenta A.R.T. $\approx$ 100 g/l desde que o tempo de esgotamento da dorna seja de 20 horas, pelo menos.

TABELA I

PRIMEIRO GRUPO DE EXPERIÊNCIAS

(A.R.T. no mosto ≈ 100 g/l)

Experi- ência nº	Mosto inicial		Mosto de alimen- tação		Vasão de alimentação (l/h)	Tempo de esgotamento da dorna (h)	RESULTADO	Ver figura nº
	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)				
1	101	2,0	105	2,0	8,8	11	F.I.	3
2	104	2,0	103	2,0	6,1	16	F.I.	4
3	100	2,0	105	1,7	5,6	18	F.I.	5
4	100	1,7	98	1,7	4,9	20	F.C.	6
5	106	1,7	102	1,7	4,7	21	F.C.	7
6	92	1,7	94	1,7	4,4	23	F.C.	8
7	105	2,0	101	1,7	3,5	29	F.C.	9

F.C. = fermentação completa

F.I. = fermentação incompleta

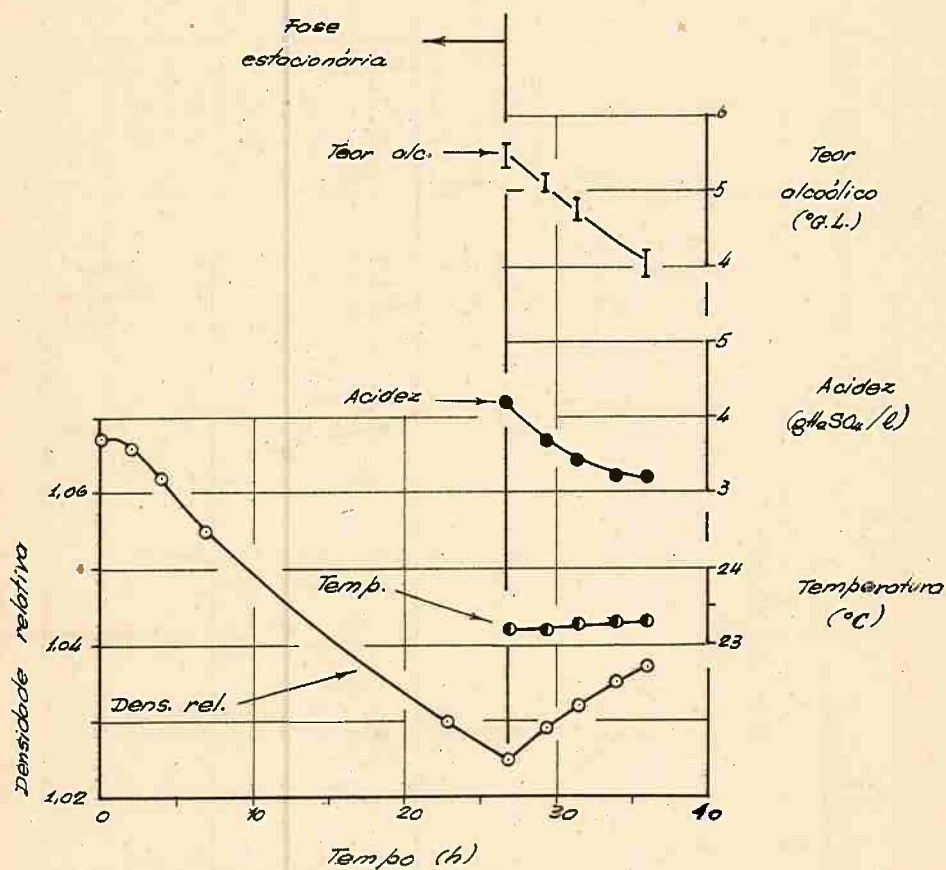


Fig. 3

Resultados obtidos na Experiência n° 1

A.R.T. = 101 g/l e 105 g/l

Vasão = 8,8 l/h

Tempo de esgotamento = 11h

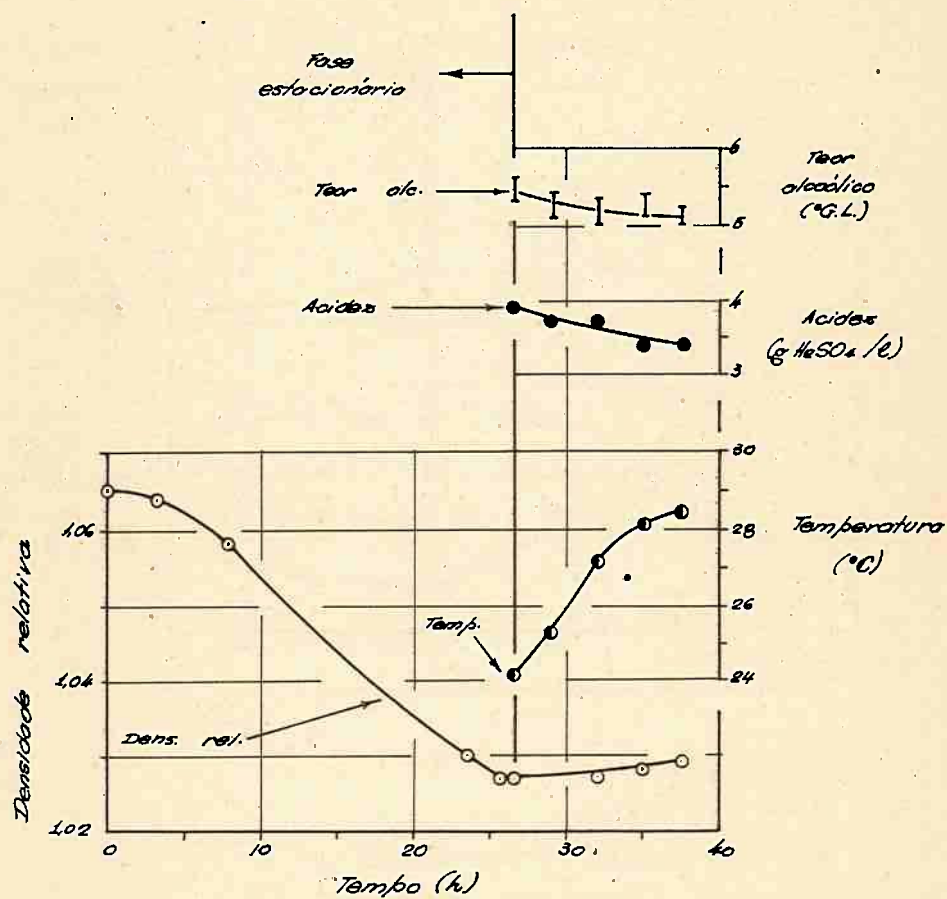


Fig. 4

Resultados obtidos na Experiência nº 2

A.R.T. = 104% e 103%

Visão = 6,1 %

Tempo de esgotamento = 16h

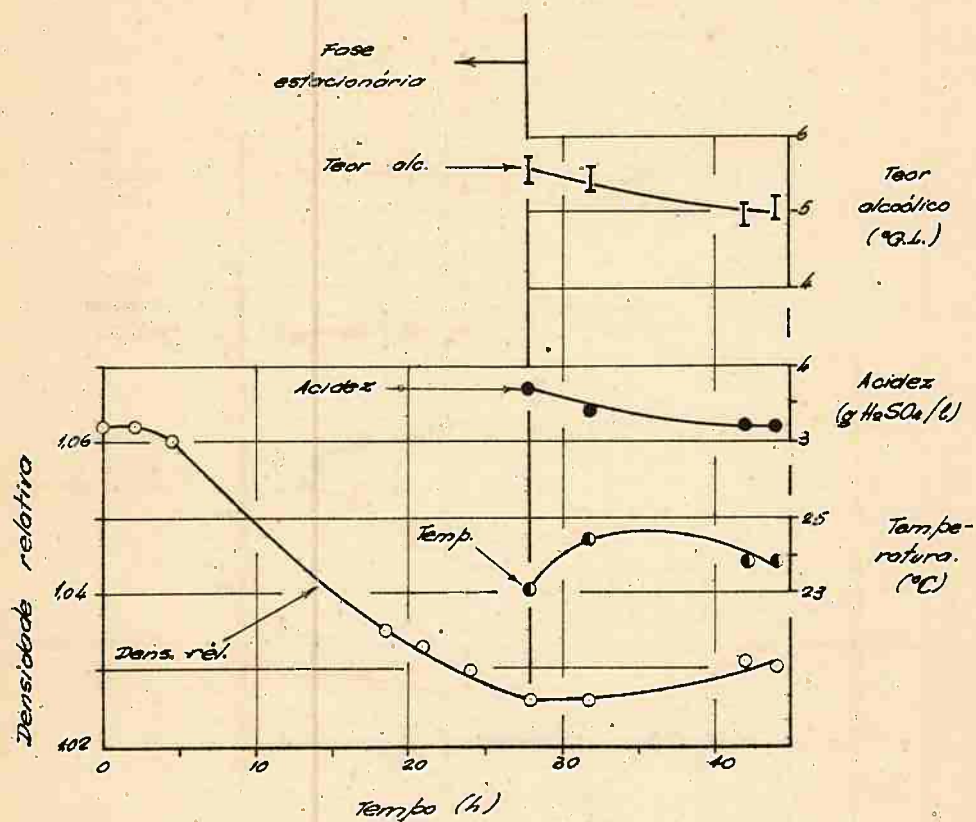


Fig. 5

Resultados obtidos na Experiência nº 3

A.R.T. = 100 g/l e 105 g/l

Vazão = 5,6 l/h

Tempo de esgotamento = 18h

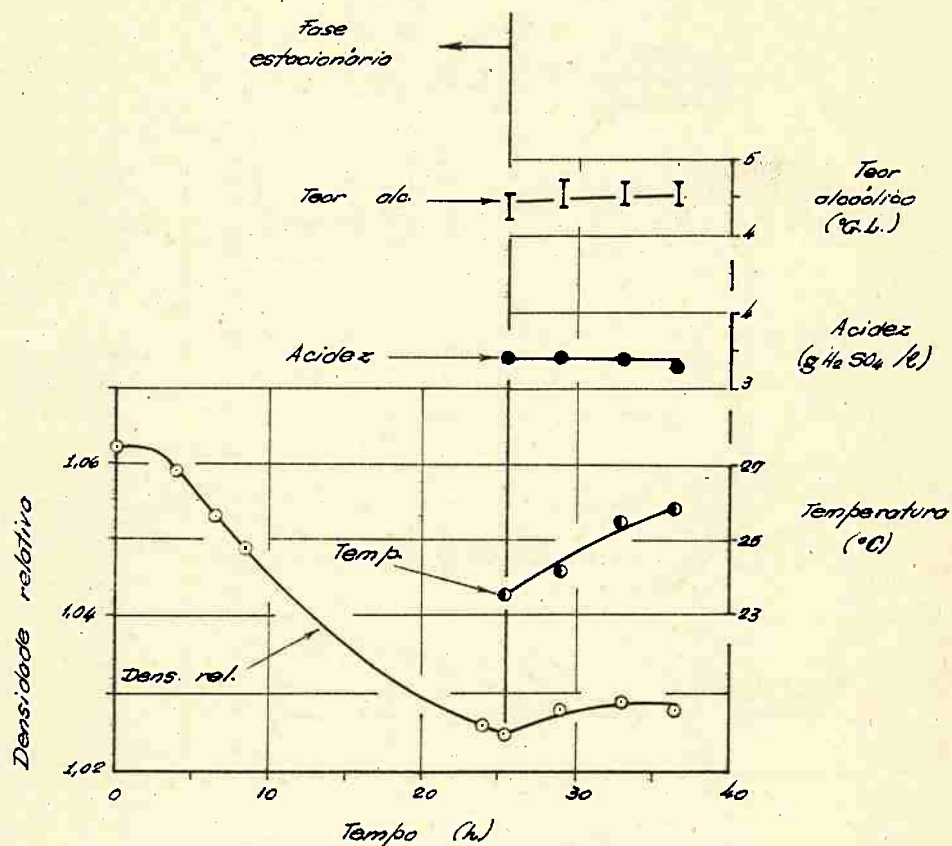


Fig. 6

Resultados obtidos na Experiência nº 4

A.R.T. = 100 g/l e 98 g/l

Vazão = 4.9 l/h

Tempo de esgotamento = 20 h

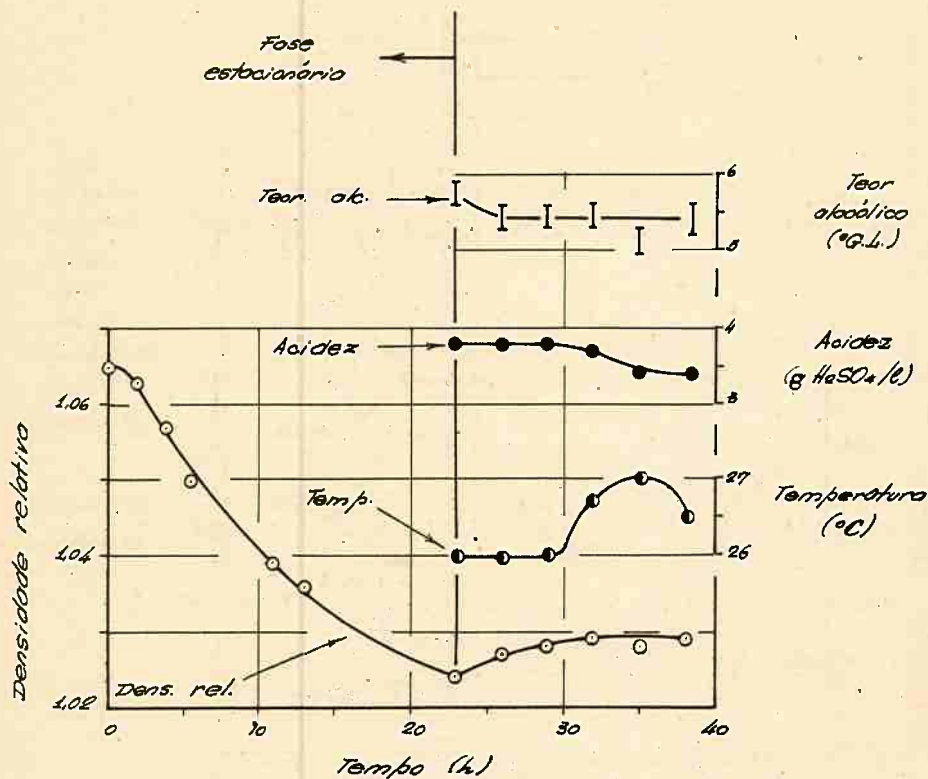


Fig. 7

Resultados obtidos na Experiência nº 5

A.R.T. = 106 5/6 e 102 5/6

Visão = 4.7 1/4

Tempo de esgotamento = 21h

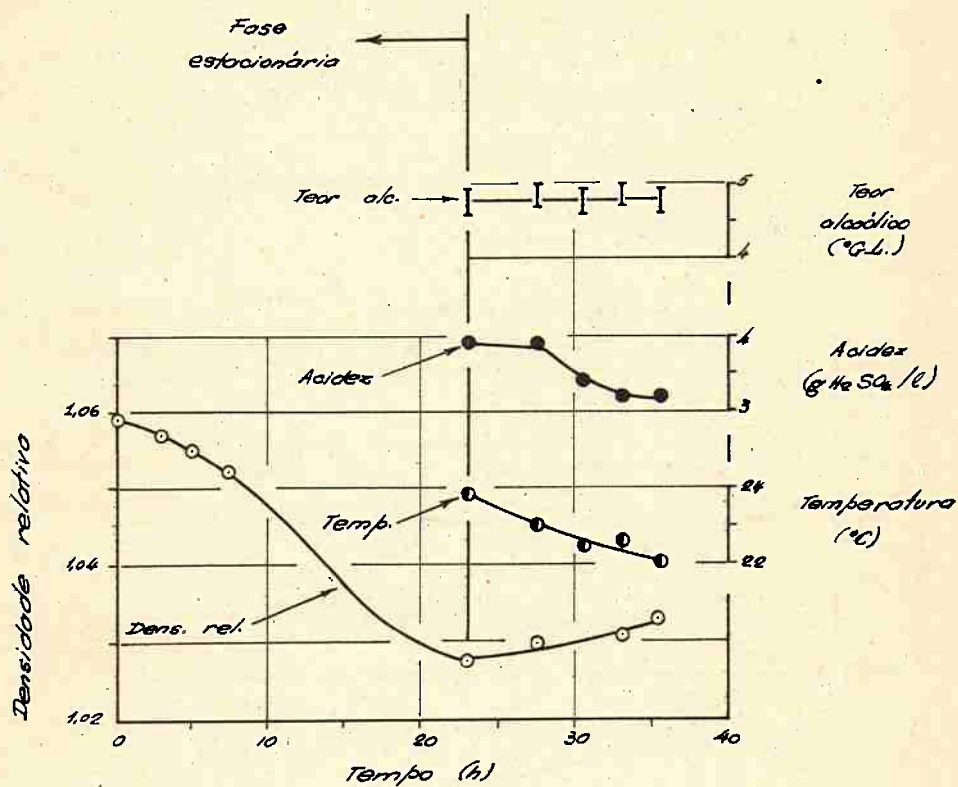


Fig. 8

Resultados obtidos na Experiência n° 6

A.R.T. = 92 1/2 e 94 1/2

Vosão = 4.4 1/4

Tempo de esgotamento = 23h

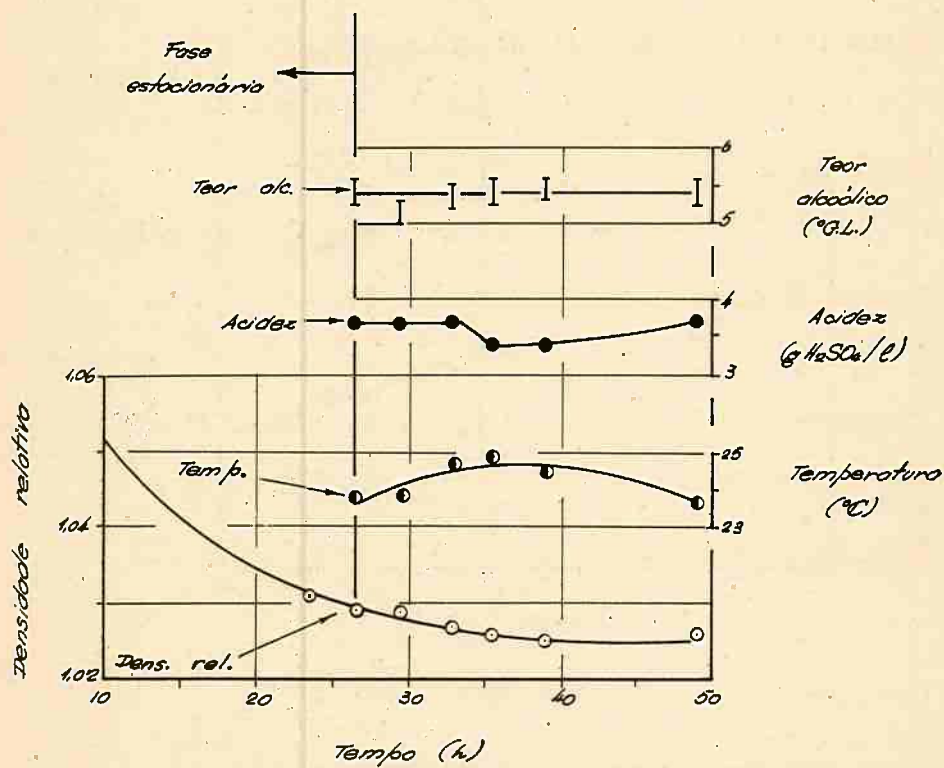


Fig. 9

Resultados obtidos na Experiência nº 7

A.P.T = 105 g/l e 101 g/l

Vasão = 3.5 l/h

Tempo de esgotamento = 29h

SEGUNDO GRUPO DE EXPERIÊNCIAS

(A.R.T. no mosto $\approx$ 140 g/l)

Experiência nº 8

Mosto inicial: A.R.T. = 141 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,5 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 141 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,5 g/l

Vasões de alimentação ensaiadas: 3,9 l/h

2,9 l/h

Tempos respectivos de esgotamento da dorna: 26 h

34 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 10)

Experiência nº 9

Mosto inicial: A.R.T. = 149 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,6 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 149 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,6 g/l

Vasão de alimentação = 2,4 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 42 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 11)

Experiência nº 10

Mosto inicial: A.R.T. = 146 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,5 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 143 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,5 g/l

Vasão de alimentação = 2,2 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 46 h

Resultado: fermentação completa (ver Figura 12)

Resultado geral do Segundo Grupo de Experiências (ver Tabela II): nas condições já especificadas, é possível conseguir fermentação contínua completa de um mosto que apresenta A.R.T. $\approx$ 140 g/l, desde que o tempo de esgotamento da dorna seja de 46 horas, pelo menos.

TABELA II

SEGUNDO GRUPO DE EXPERIÊNCIAS

(A.R.T. no mosto ≈ 140 g/l)

Experi- ência nº	Mosto inicial		Mosto de alimen- tação		Vasão de alimentação (l/h)	Tempo de esgotamento da dorna (h)	RESULTADO	Ver figura nº
	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)				
8	141	2,5	141	2,5	3,9	26	F.I.	10
9	149	2,6	149	2,6	2,9	34	F.I.	
10	146	2,5	143	2,5	2,4	42	F.I.	11
					2,2	46	F.C.	12

F.C. = fermentação completa

F.I. = fermentação incompleta

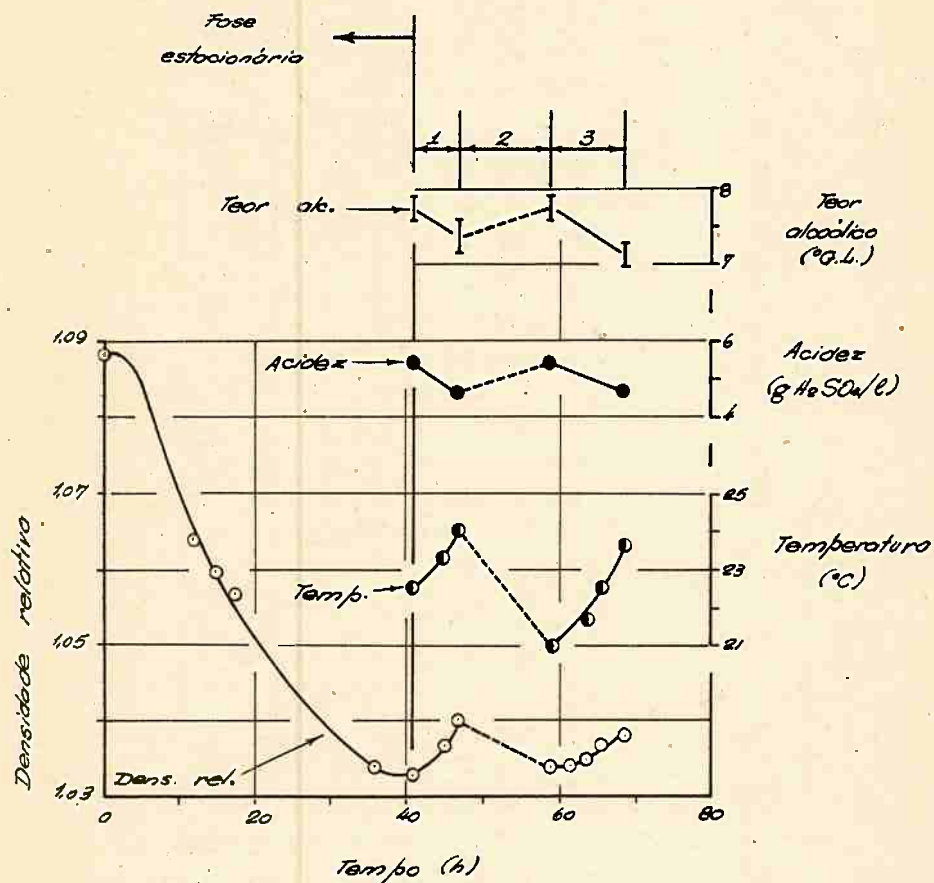


Fig. 10

Resultados obtidos na Experiência nº 8

A.R.T. = 14186 e 14186

Fase nº	1	3
Vasão (l/h)	3.9	2.9
Tempo de esgotamento (h)	26	34

Fase nº2: interrupção da alimentação

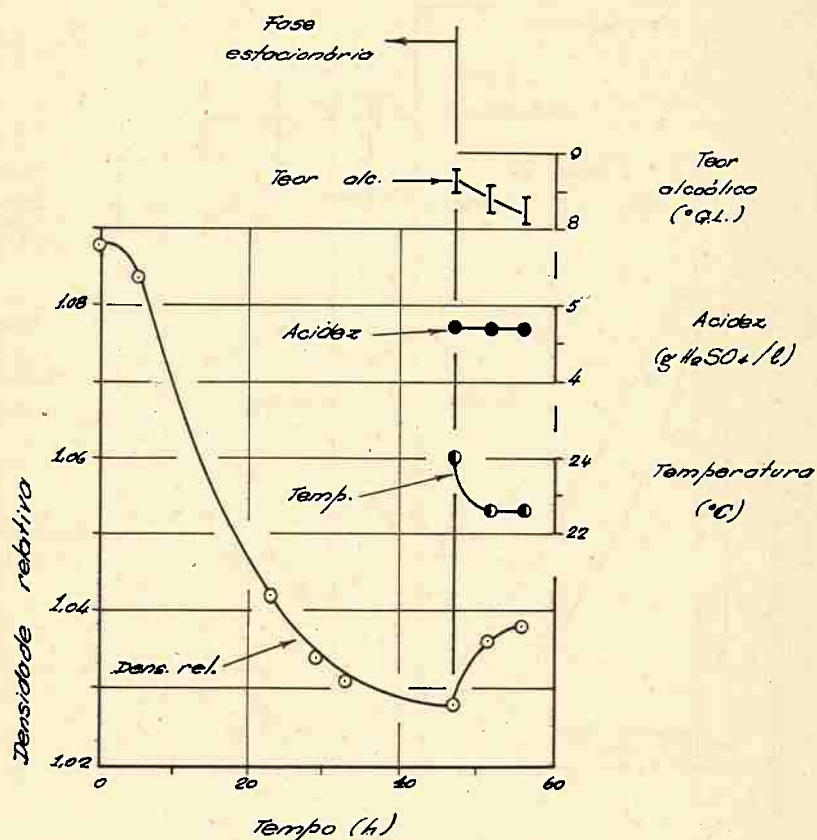


Fig. 11

Resultados obtidos na Experiência nº 9

A.R.T. = 149 3/4 e 149 3/4

Velocidade = 2,4 1/h

Tempo de esgotamento = 42h

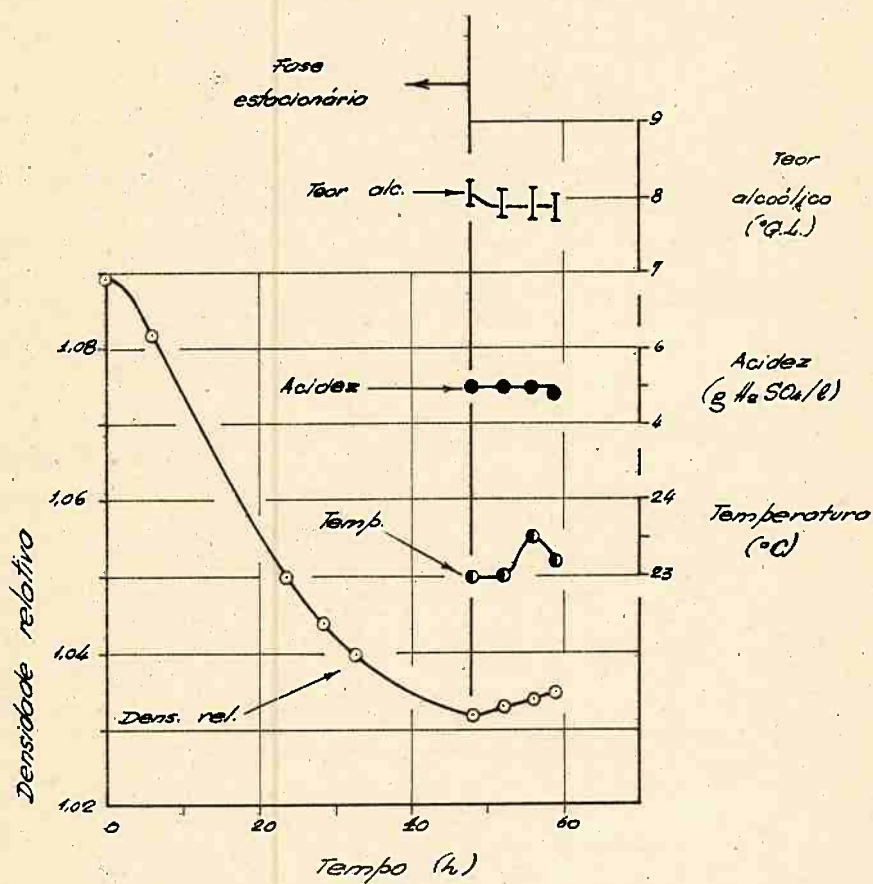


Fig. 12

Resultados obtidos na Experiência nº 10

A.R.T. = 146% e 143%

Vasão = 2.2 l/h

Tempo de esgotamento = 46h

TERCEIRO GRUPO DE EXPERIÊNCIAS

(A.R.T. no mosto $\approx$ 180 g/l)

Experiência nº 11

Mosto inicial: A.R.T. = 170 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,7 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 175 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,7 g/l

Vasão de alimentação = 3,4 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 29 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 13)

Experiência nº 12

Mosto inicial: A.R.T. = 174 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,9 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 168 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,5 g/l

Vasão de alimentação = 3,3 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 30 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 14)

Experiência nº 13

Mosto inicial: A.R.T. = 184 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,8 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 188 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 3,2 g/l

Vasão de alimentação = 2,9 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 34 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 15)

Experiência nº 14

Mosto inicial: A.R.T. = 186 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 2,9 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 188 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 3,2 g/l

Vasão de alimentação = 2,6 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 39 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 16)

Experiência nº 15

Mosto inicial: A.R.T. = 184 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 3,2 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 184 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 3,1 g/l

Vasão de alimentação = 1,7 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 59 h

Resultado: por termos iniciado a alimentação antes de completada a fermentação do mosto inicial, o gráfico da Figura 17 mostra que a fermentação não se completa.

Experiência nº 16

Mosto inicial: A.R.T. = 180 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 3,7 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 182 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 3,4 g/l

Vasão de alimentação = 1,4 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 71 h

Resultado: fermentação completa (ver Figura 18)

Resultado geral do Terceiro Grupo de Experiências (ver Tabela III): nas condições já especificadas, é possível conseguir fermentação contínua completa de um mosto que apresenta A.R.T. $\approx$ 180 g/l, desde que o tempo de esgotamento da dorna seja de 71 horas, pelo menos.

TABELA III

TERCEIRO GRUPO DE EXPERIÊNCIAS

(A.R.T. no mosto = 180 g/l)

Experi- ência nº	Mosto inicial		Mosto de ali- mentação		Vasão de alimentação (l/h)	Tempo de esgotamento da dorna (h)	RESULTADO	Ver figura nº
	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)				
11	170	2,7	175	2,7	3,4	29	F.I.	13
12	174	2,9	168	2,5	3,3	30	F.I.	14
13	184	2,8	188	3,2	2,9	34	F.I.	15
14	186	2,9	188	3,2	2,6	39	F.I.	16
15	184	3,2	184	3,1	1,7	59	F.I.	17
16	180	3,7	182	3,4	1,4	71	F.C.	18

F.I. = fermentação incompleta

F.C. = fermentação completa

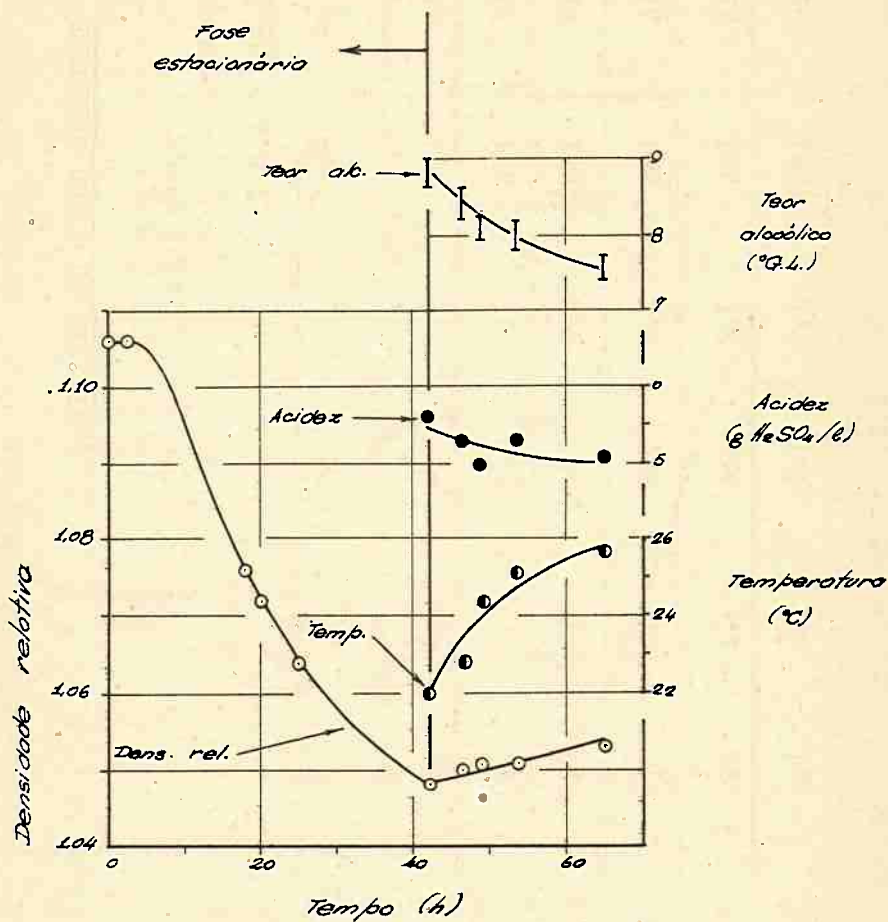


Fig. 13

Resultados obtidos na Experiência nº 11

A.R.T. = 170% e 175%

Visão = 3.4%

Tempo de esgotamento = 29h

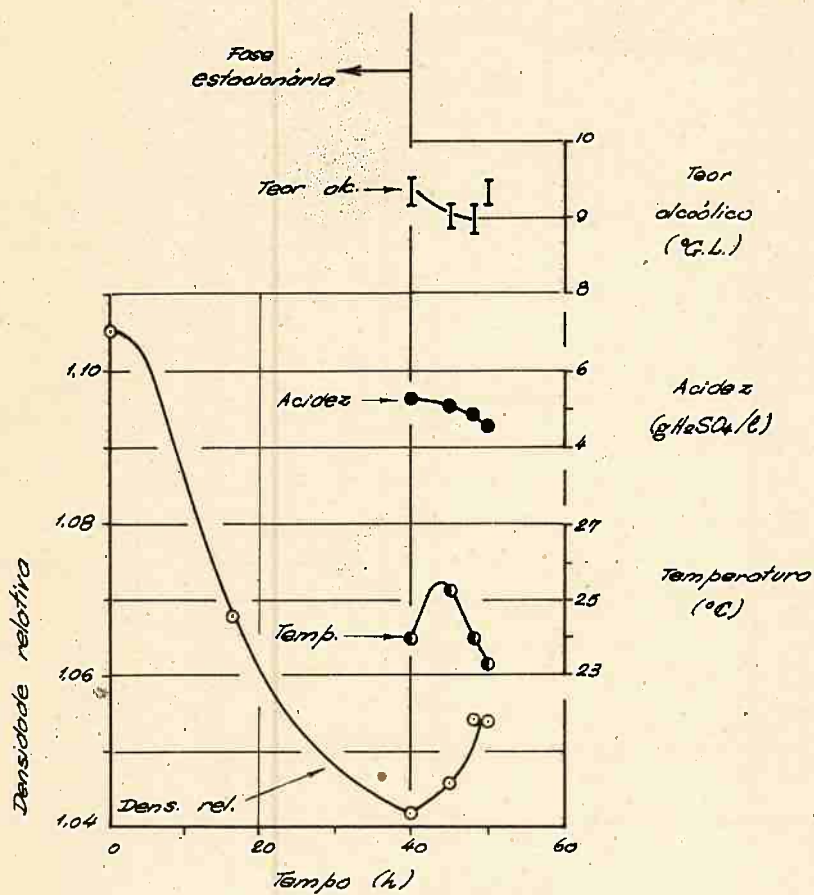


Fig. 14

Resultados obtidos na Experiência nº 12

A.R.T. = 174 g/l e 168 g/l

Visão = 3.3 l/h

Tempo de esgotamento = 30 h

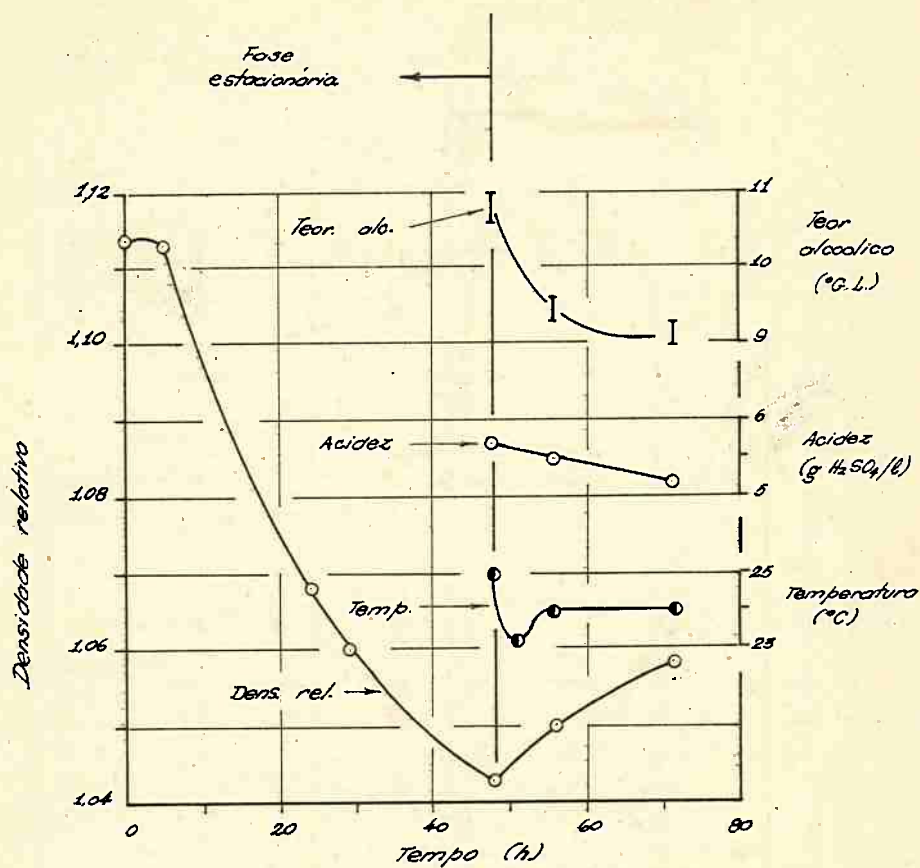


Fig. 15

Resultados obtidos na Experiência nº 13

A.R.T. = 184 g/l e 188 g/l

Vasão = 2,9 %

Tempo de esgotamento = 34h

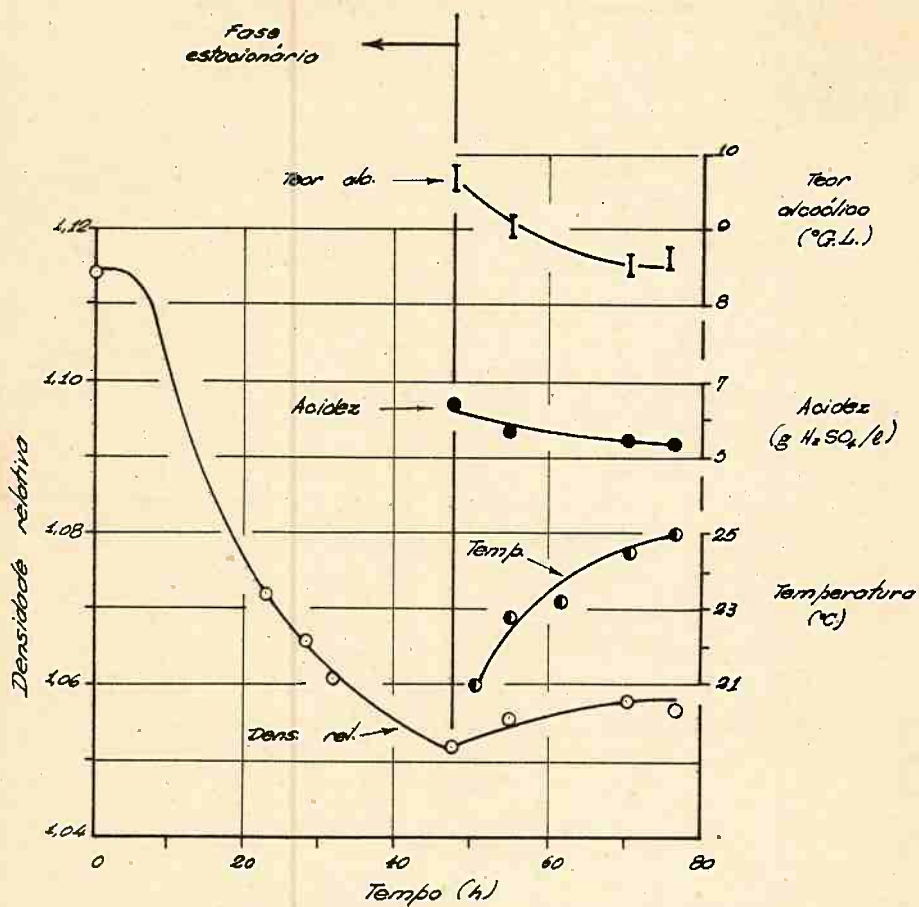


Fig. 16

Resultados obtidos na Experiência nº 14

A.R.T. = 186 3/4 e 188 3/4

Vasão = 2,6 l/h

Tempo de esgotamento = 39h

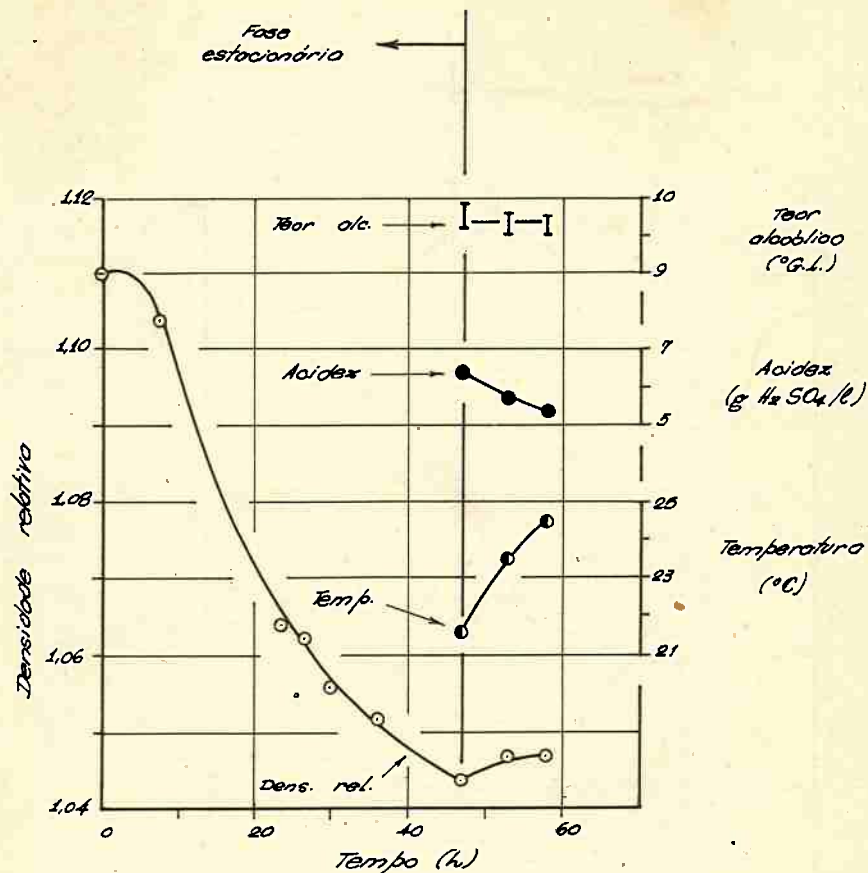


Fig. 17

Resultados obtidos na Experiência nº 15

A.R.T. = 184 g/l e 184 g/l

Vasão = 1,7 g/h

Tempo de esgotamento = 59h

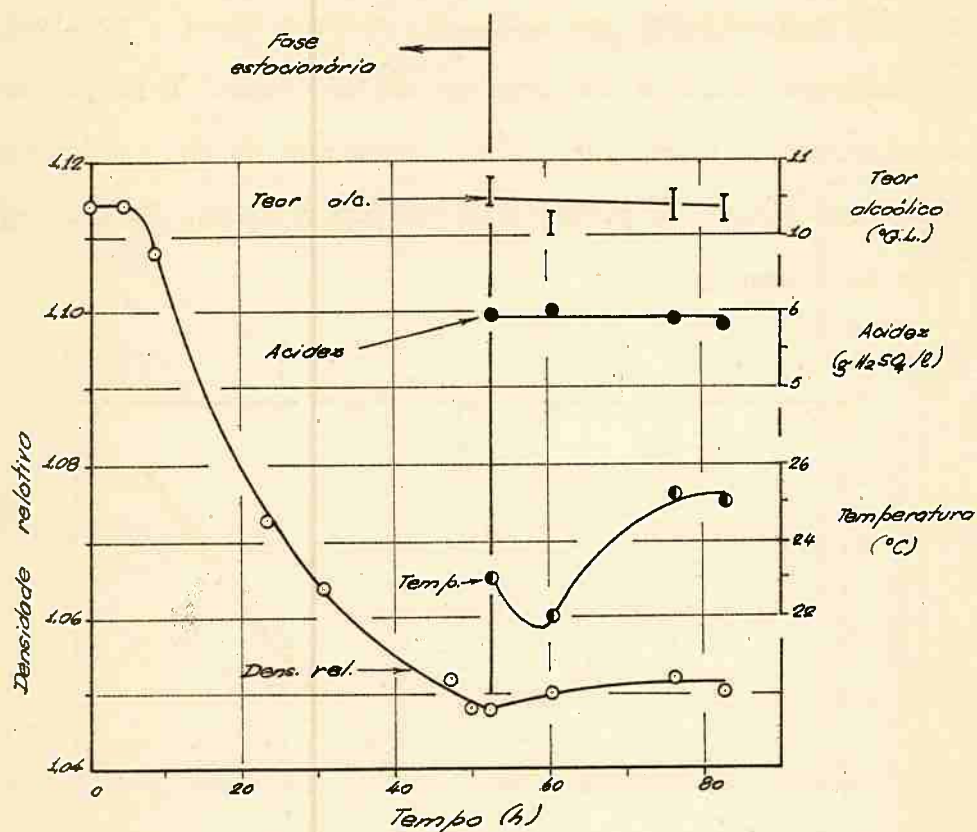


Fig. 18

Resultados obtidos na Experiência n° 16

A.R.T. = 180 9/16 e 182 9/16

Vasão = 1,4 9/16

Tempo de esgotamento = 72h

Em resumo, as experiências que realizámos na instalação semi-pilôto, sem agitação, mostram que é possível fermentação contínua completa em uma só dorna. O tempo de esgotamento da dorna varia com a concentração de açúcares redutores totais do mosto, como indicam a Tabela IV e o gráfico da Figura 19.

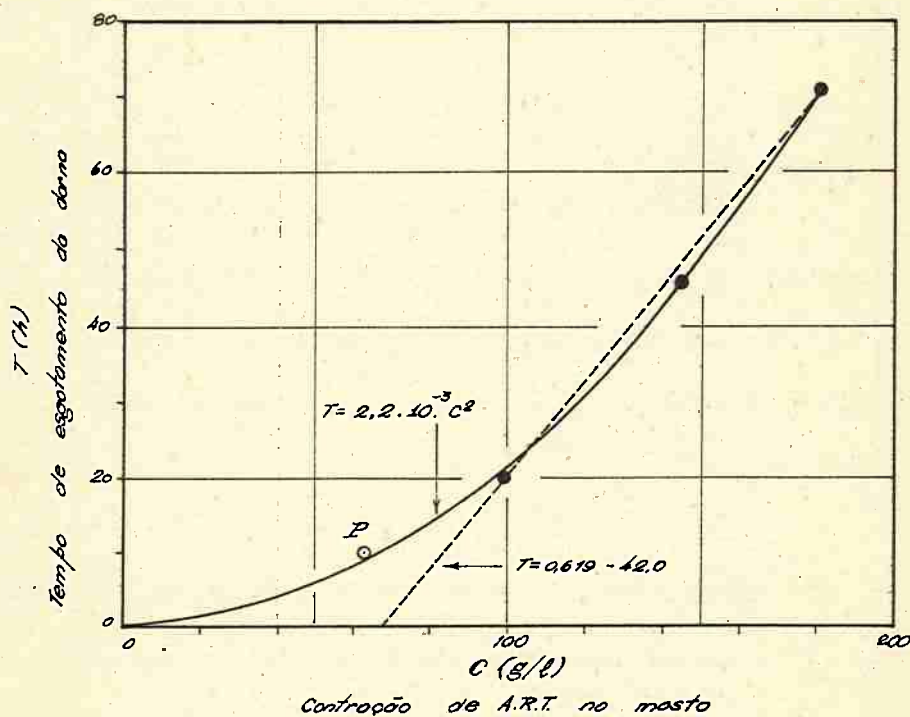


Fig. 19

Resultados obtidos nas experiências realizadas em escala semi-piloto sem agitação

T A B E L A IV

Influência da concentração de A.R.T. no tempo
de esgotamento da dorna

A.R.T. no mosto (g/l)	Tempo de esgotamento da dorna (h)
99	20
145	46
181	71

Indicando com C a concentração de A.R.T. no mosto, medida em g/l, e com T o tempo de esgotamento da dorna em horas, podemos observar que os valores da Tabela IV obedecem à seguinte equação, determinada pelo método dos mínimos quadrados:

$$T = 0,619 C - 42,0 \quad (1)$$

Representando, porém, graficamente, T em função de C^2 , pudemos verificar que os pontos da Tabela IV e o ponto origem ($T = 0$; $C = 0$) se encontram alinhados sobre uma reta, cuja equação é a seguinte, também determinada pelo método dos mínimos quadrados:

$$T = 2,17 \cdot 10^{-3} \cdot C^2 \quad (2)$$

A equação (2) deve estar, sem dúvida, mais de acôrdo com a realidade do fenômeno, uma vez que a curva correspondente passa pelo ponto de coordenadas $T = 0$ e $C = 0$.

Por outro lado, a equação (2) pode ser teoricamente justificada do seguinte modo: admitamos que a transformação dos açúcares em álcool e gás carbônico seja de ordem -1, isto é:

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{k}{C} \quad (3)$$

Sendo C_0 a concentração de A.R.T. do mosto de alimentação; C_1 a concentração de A.R.T. do vinho retirado da dorna e T o tempo de esgotamento da dorna, a equação (3) nos dá:

$$C_0^2 - C_1^2 = 2 k T \quad (4)$$

Por outro lado, podemos escrever $C_1 = f.C_0$, sendo $0 < f < 1$. Logo, a (4) nos fornece:

$$T = \frac{1 - f^2}{2 k} \cdot C_0^2 \quad (5)$$

A equação (5) será uma justificativa da (2) desde que f independa de C_0 , isto é, desde que o rendimento da fermentação não seja influenciado pela concentração de açúcares redutores totais do mosto. Os resultados que obti

vemos experimentalmente mostram que, de fato, isto aproximadamente acontece, como podemos observar na Tabela V. Nessa tabela, o rendimento foi calculado pela relação entre o teor de álcool existente no vinho resultante da fermentação, e o teor de álcool que teoricamente poderia ser obtido.

T A B E L A V
Influência da concentração de A.R.T. no
rendimento da fermentação

Número de ensaios efetuados	A.R.T. do mosto (g/l)	Média dos rendimentos (%)
4	62 a 65	84
17	92 a 111	84
4	141 a 157	88
10	170 a 186	86

Afim de podermos apresentar mais alguns valores experimentais em favor da equação (2), realizámos experiências com mosto mais diluído (A.R.T. $\approx$ 60 g/l), adiante descritas. Nestas experiências utilizámos, como ponto de partida para o preparo do mosto, melaço contendo 53,1 % de açúcares redutores totais.

Experiência nº 17

Mosto inicial: A.R.T. = 63 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 0,93 g/l

Mosto de alimentação = A.R.T. = 65 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,0 g/l

Vasão de alimentação = 11 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 9,0 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 20)

Observámos, nesta experiência, aparecimento de grãos de dextrânio ("cangica") 4 a 5 horas após o início da alimentação. A acidez relativamente baixa do mosto foi, sem dúvida, a responsável pelo desenvolvimento do microrganismo que provoca a formação desse material. Para evitarmos o aparecimento da "cangica", nas experiências seguintes adicionámos, a cada 100 litros de mosto, 54 a 56 ml de ácido sulfúrico "concentrado" ($d = 1,83$).

Experiência nº 18

Mosto inicial: A.R.T. = 63 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,8 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 63 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,8 g/l

Vasão de alimentação = 10 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 10 h

Resultado: fermentação praticamente completa (ver Figura 21)

Experiência nº 19

Mosto inicial: A.R.T. = 64 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 65 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Vasão de alimentação = 7,2 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 14 h

Resultado: fermentação praticamente completa (ver Figura 22)

Tudo indica, portanto, ser possível fermentação contínua, sem agitação, em uma só dorna, de mosto de melaço contendo 60 g/l de A.R.T., desde que o tempo de esgotamento da dorna seja de 10 horas, pelo menos. Êste resultado concorda sensivelmente com o que poderíamos prever a partir da equação (2) (ver ponto P na Figura 19).

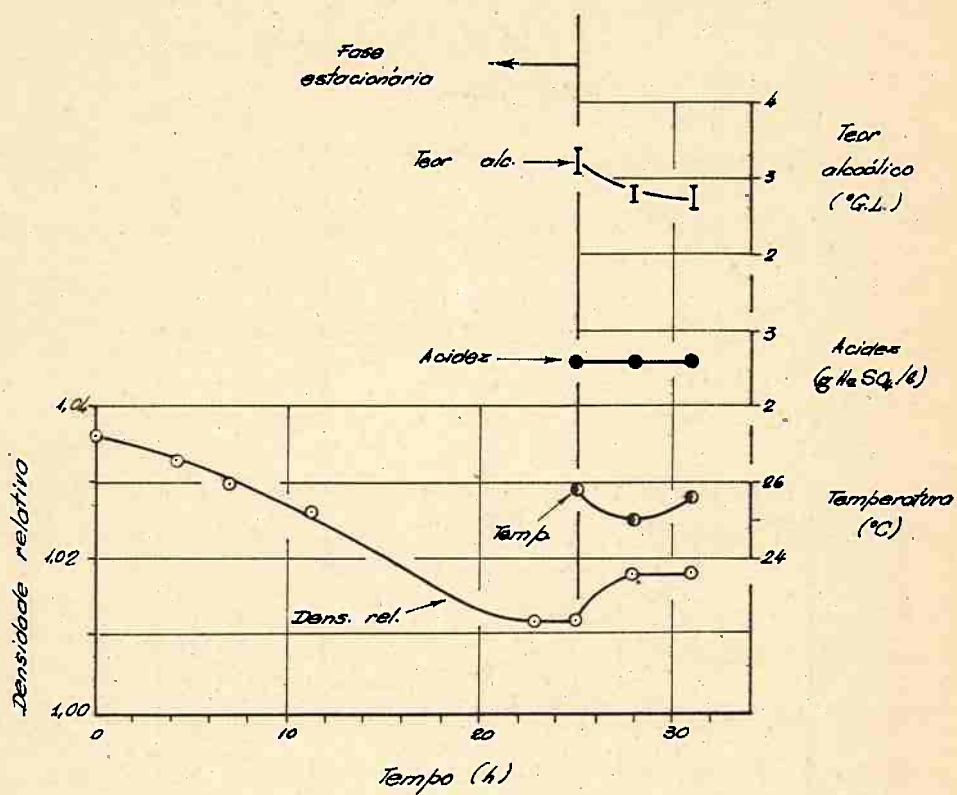


Fig. 20

Resultados obtidos na Experiência nº 17

A.R.T. = 63 g/l e 65 g/l

Velocidade = 11,1 %/h

Tempo de esgotamento = 2,0h

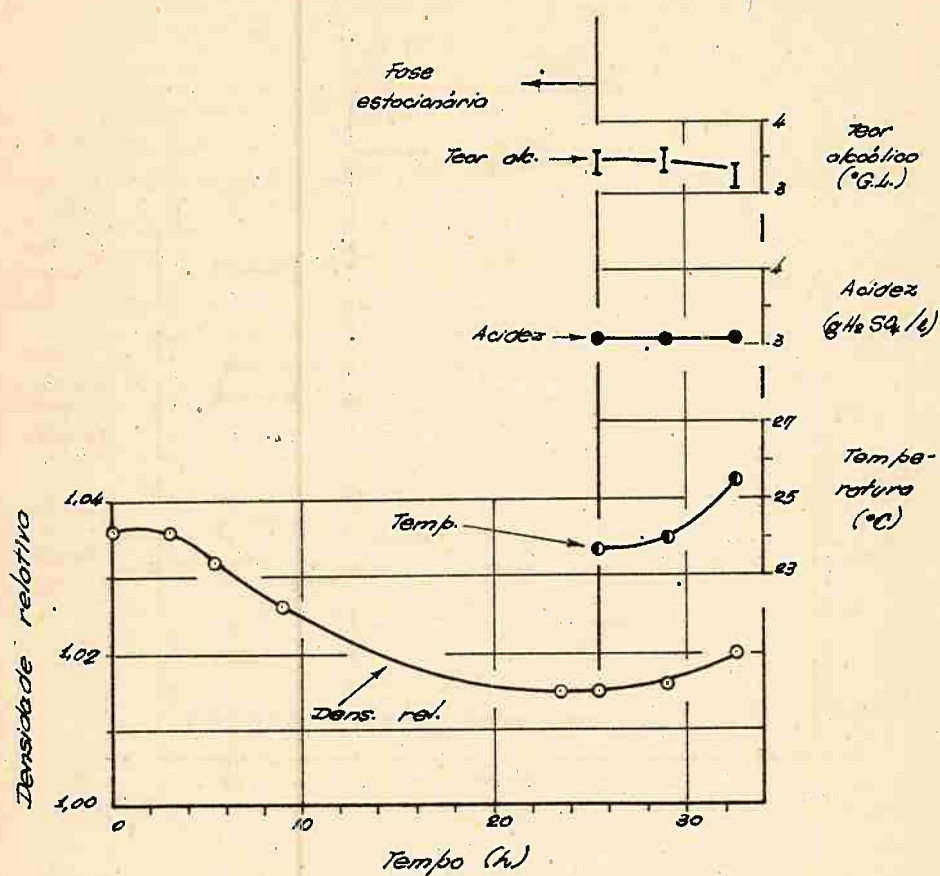


Fig. 21

Resultados obtidos na Experiência nº 18

A.R.T. = 63 % e 63 1/2

Vasão = 10,4 1/4

Tempo de esgotamento = 10h

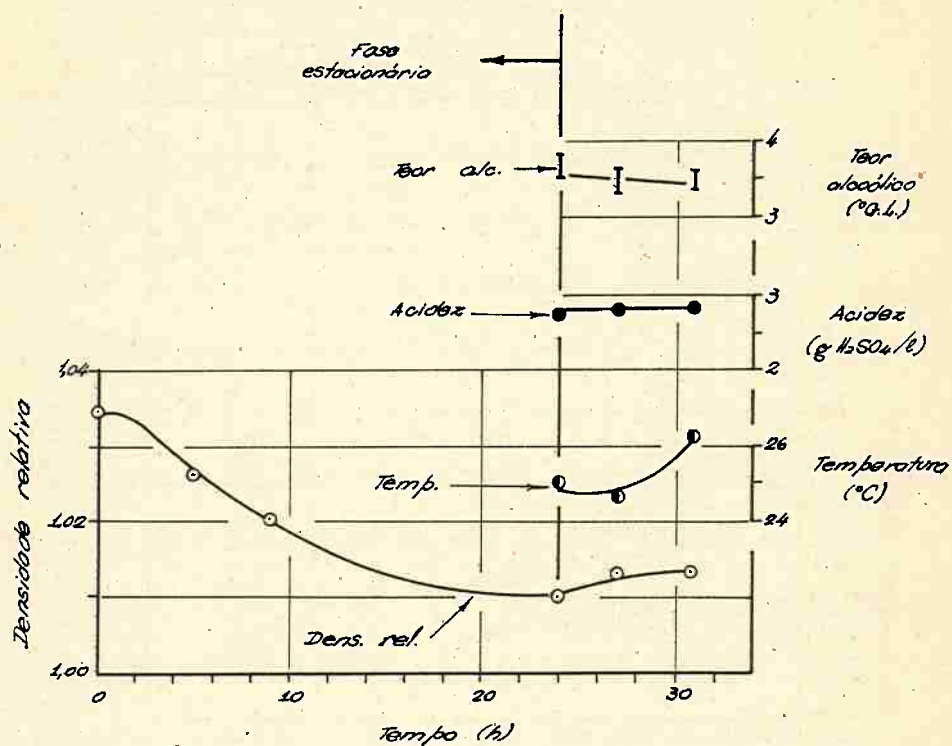


Fig. 22

Resultados obtidos na Experiência nº 19

A.R.T. = 64 g/l e 65 g/l

Vasão = 7,2 $\frac{g}{h}$

Tempo de esgotamento = 1h

C A P Í T U L O I I

EXPERIÊNCIAS SEM AGITAÇÃO EM INSTALAÇÃO PILÔTO

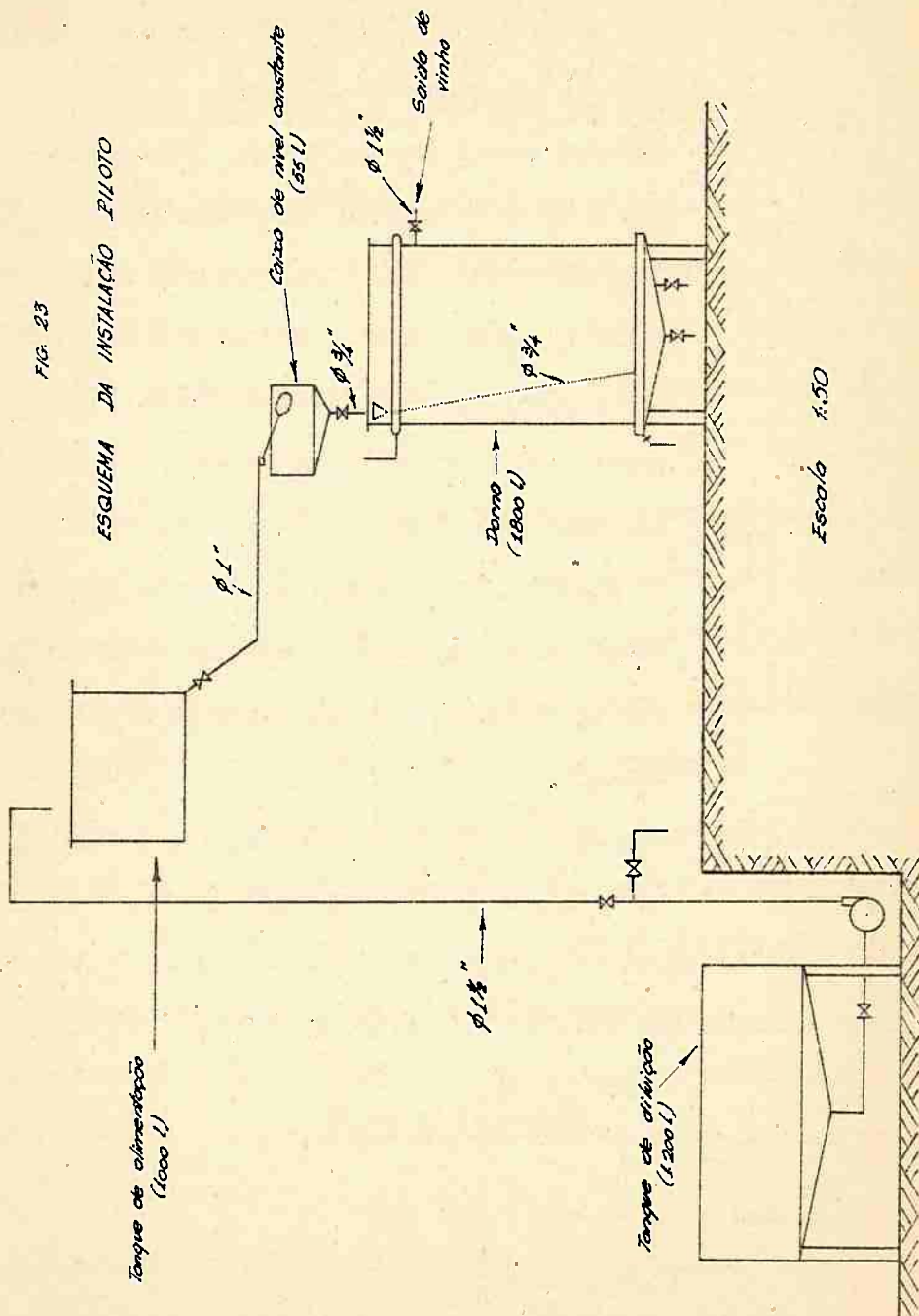
A aparelhagem que utilizámos nesta série de experiências, esquematizada na Figura 23, difere da descrita no início do Capítulo I, praticamente só no que diz respeito às capacidades dos recipientes. Os tanques de diluição e de alimentação, ambos de ferro e de forma paralelepípedica, têm capacidades respectivas de 1.200 e 1.000 litros; a caixa de nível constante pode conter 55 litros, e a dorna 1.800 litros. Esta dorna, e a da instalação semi-pilôto, são geometricamente semelhantes.

O melaço que nos serviu de matéria prima para estas experiências foi retirado da mesma partida que forneceu melaço para as primeiras 16 experiências descritas no Capítulo I (A.R.T. = 47,7%).

A escassez de melaço nos impediu de repetir aqui o estudo feito na instalação semi-pilôto; só pudemos trabalhar com uma concentração de A.R.T., no mosto, da ordem de 100 g/l.

Realizámos as experiências da seguinte maneira:

1ª - Preparar 900 litros de mosto, de concentra



ção conveniente, diluindo melaço em água potável no tanque de diluição.

- 2º - Colocar êsse mosto na dorna, inoculando-o com 9 Kg de "fermento Fleischmann".
- 3º - Estando o material em fermentação ativa, com letar a dorna com mais 900 litros de mosto preparado como se indicou no item 1º, e es perar o término da fermentação.
- 4º - Preparar 900 litros de mosto como indicado no item 1º, transportar êsse mosto para o tanque de alimentação e iniciar a alimenta ção da dorna através da caixa de nível cons tante.
- 5º - Uma vez terminada a experiência, lavar cui dadosamente todo o material.

Os mesmos contrôles já indicados no Capítulo I foram efetuados nos ensaios que serão descritos a seguir.

Experiência nº 20

Mosto inicial: A.R.T. = 103 g/l

acidez. (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Mosto de alimentação nº 1: A.R.T. = 99 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

Mosto de alimentação nº 2: A.R.T. = 103 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,8 g/l

Mosto de alimentação nº 3: A.R.T. = 103 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,8 g/l

Vasões de alimentação ensaiadas:

75 l/h

52 l/h

33 l/h

31 l/h

23 l/h

Tempos respectivos de esgotamento da dorna:

24 h

32 h

55 h

59 h

78 h

Resultado: fermentação completa para vasão igual ou inferior a 33 l/h, isto é, para tempo de esgotamento igual ou superior a 55 h (ver Figura 24).

Na Figura 24 podemos ainda observar um aumento acentuado da acidez do vinho retirado da dorna, o que é, sem dúvida, consequência de fermentações secundárias resultantes das contaminações do melaço. O fato de o melaço ter sido armazenado por um intervalo de tempo de cerca de um ano

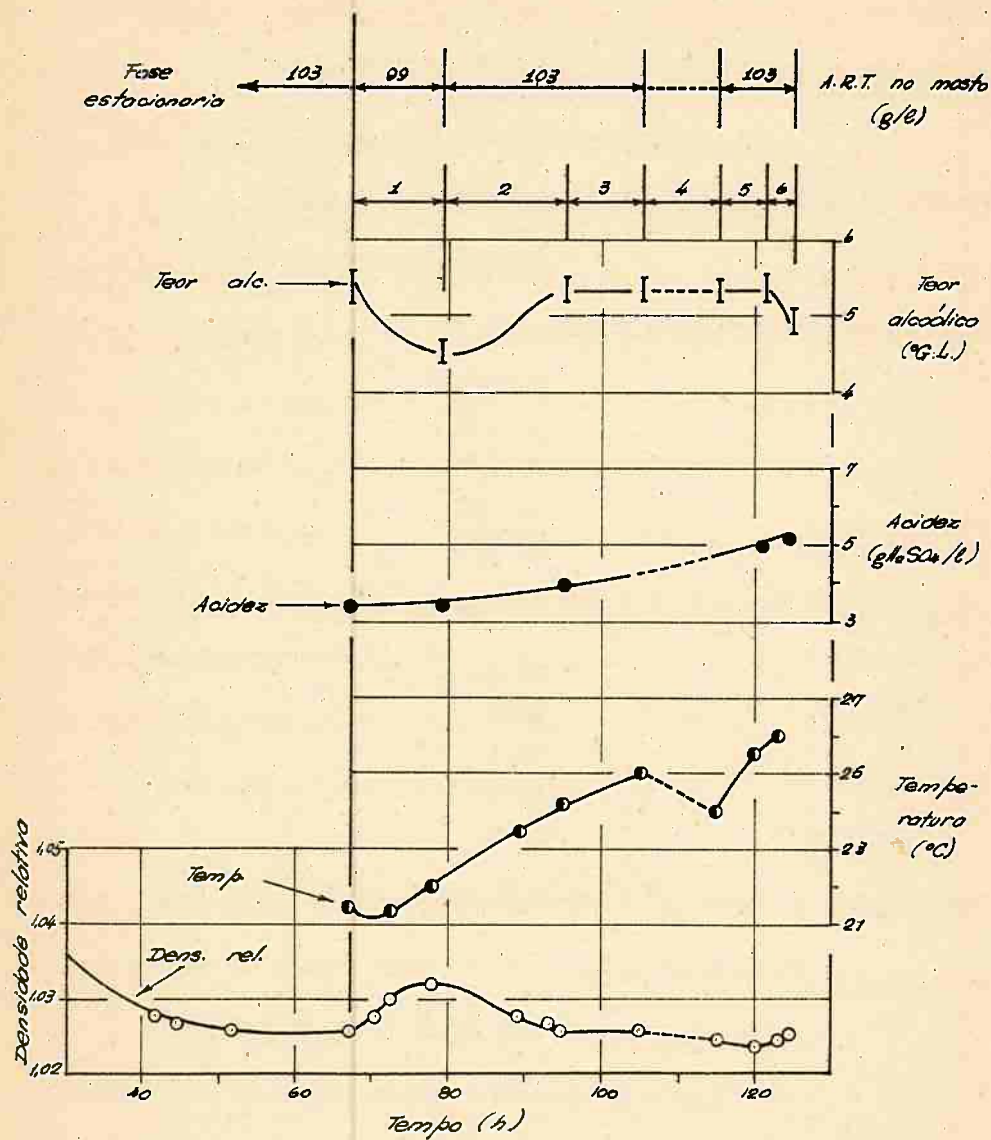


Fig. 24

Resultados obtidos no Experimento nº 20

Fase nº	1	2	3	5	6
Vasão (l/h)	75	23	33	31	52
Tempo de esgotamento (h)	24	78	55	59	32

Fase nº 4: interrupção da alimentação

antes de ser utilizado, explica o aparecimento dessas contaminações.

Aproveitámos a oportunidade de dispormos de material contaminado por bactérias ácido produtoras, afim de observarmos a ação de penicilina como inibidor desses microrganismos. O efeito inibidor desse antibiótico, quando usado na concentração de 1 U.I./ml, e quando os microrganismos contaminantes são bactérias ácido láctico produtoras, já foi comprovado em fermentações alcoólicas a partir de milho (10). As duas experiências adiante descritas, mostram que esse mesmo efeito pode ser observado em fermentações alcoólicas a partir de melaço. Utilizámos o sal de potássio da penicilina G, fabricado pela Chas. Pfizer & Co. Inc.

Experiência nº 21

Mosto inicial: A.R.T. = 103 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,8 g/l

concentração de penicilina = 1 U.I./ml

Mosto de alimentação nº 1: A.R.T. = 102 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,8 g/l

concentração de penicilina =

= 1 U.I./ml

Mosto de alimentação nº 2: A.R.T. = 103 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

concentração de penicilina =

= 1 U.I./ml

Vasões de alimentação ensaiadas:

37 l/h

32 l/h

Tempos respectivos de esgotamento da dorna:

49 h

56 h

Resultado: fermentação incompleta para o tempo de esgotamento igual a 49 horas; fermentação completa quando o tempo de esgotamento é de 56 horas. O efeito benéfico da penicilina é bastante visível se examinarmos o gráfico da Figura 25, onde podemos observar:

- 1ª - redução da acidez do vinho, ao contrário do que sucedeu na Experiência nº 20;
- 2ª - aumento do teor alcoólico do vinho mesmo durante a primeira parte do trabalho, isto é, com vasão de alimentação igual a 37 l/h e, portanto, com fermentação incompleta.

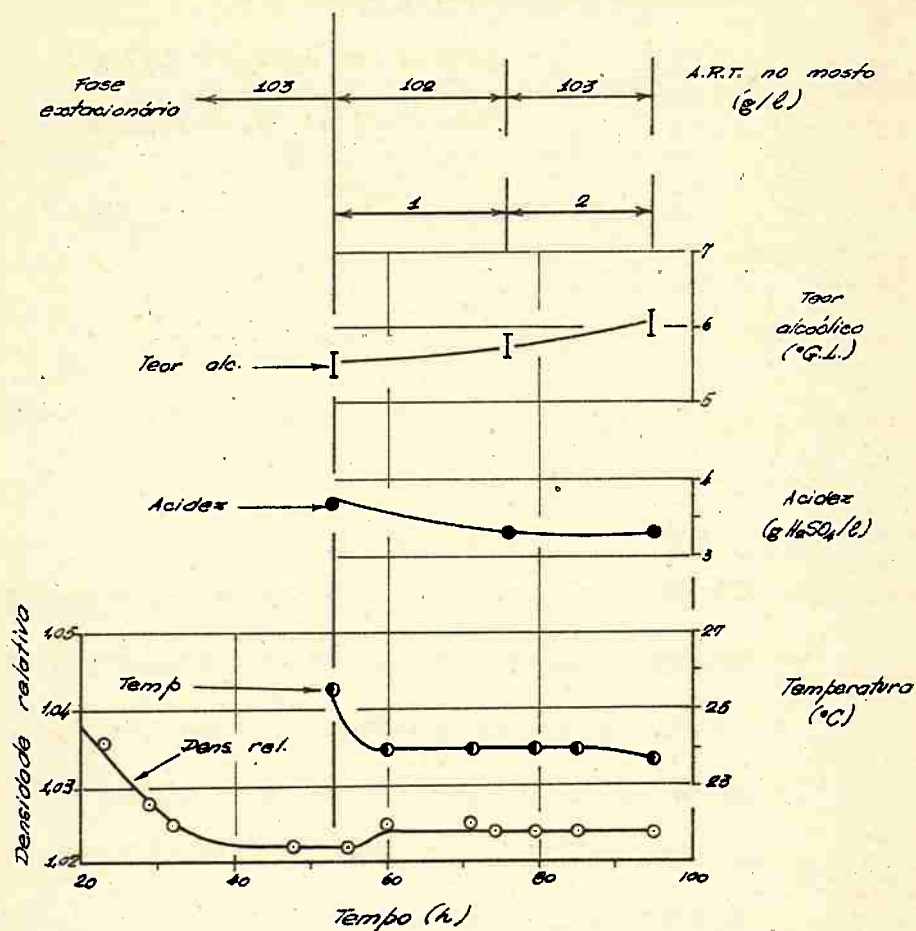


Fig. 25

Resultados obtidos na Experiência nº 21

Fase nº	1	2
Vasão (l/h)	37	32
Tempo de esgotamento (h)	49	56

Experiência nº 22

Mosto inicial: A.R.T. = 102 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,8 g/l

concentração de penicilina = 1 U.I./ml

Mosto de alimentação: A.R.T. = 101 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,7 g/l

concentração de penicilina = 1 U.I./ml

Vasão de alimentação = 34 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 53 h

Resultado: fermentação incompleta. No gráfico da Figura 26 podemos novamente observar o efeito benéfico da penicilina: não há aumento da acidez do vinho e, apesar da fermentação ser incompleta, seu teor alcoólico tende a aumentar.

Resumindo, as experiências realizadas na instalação piloto nos mostram o seguinte (ver Tabela VI):

- 1º - nas condições especificadas, é possível conseguir fermentação contínua completa de um mosto que apresenta A.R.T. $\approx$ 100 g/l, desde que o tempo de esgotamento da dorna seja de 55 horas, pelos menos;

2ª - o uso do sal de potássio da penicilina G, na concentração de 1 U.I./ml, inibe a ação de bactérias ácido-produtoras durante a fermentação, mas não influe sobre o tempo de esgotamento da dorna.

Convém ressaltar o fato de que a equação (2), válida para as experiências realizadas sem agitação na instalação semi-pilôto, não é aplicável quando trabalhamos nas condições especificadas no início deste Capítulo. É pouco provável, porém, que a não adição, ao mosto, de sulfato de magnésio e de dihidrogênio-fosfato de potássio, seja a responsável por essa discordância entre o valor de T calculado pela equação (2) (cerca de 22 horas) e o determinado experimentalmente (55 horas). Julgamos mais razoável admitir que, devido ao aumento da capacidade da dorna (100 litros, na instalação semi-pilôto, para 1.800 litros na instalação pilôto), o gás carbônico que se desprende acarrete o estabelecimento de um estado de agitação diferente e pouco favorável ao desenvolvimento do processo. As experiências que descreveremos no Capítulo III, associadas às que já apresentamos em nossa Tese de Concurso à Docência Livre (1), parecem indicar a veracidade desta hipótese.

T A B E L A VI

Experiências sem agitação em instalação piloto

Experi- ência nº	Mosto inicial		Mosto de ali- mentação		Vasão de alimentação (l/h)	Tempo de esgotamento da dorna (h)	RESULTADO	Ver figura nº
	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)				
20	103	1,7	99	1,7	75	24	F.I.	24
			103	1,8	52	32	F.I.	
			103	1,8	33	55	F.C.	
					31	59	F.C.	
					23	78	F.C.	
21	103	1,8	102	1,8	37	49	F.I.	25
			103	1,7	32	56	F.C.	
22	102	1,8	101	1,7	34	53	F.I.	26

F.C. = fermentação completa

F.I. = fermentação incompleta

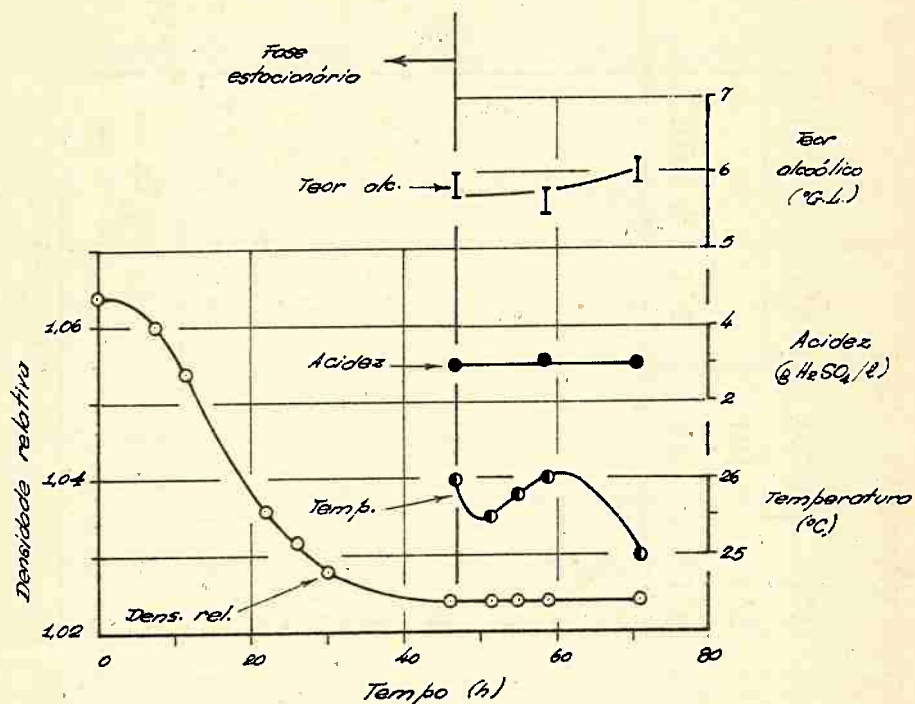


Fig. 26.

Resultados obtidos na Experiência nº 22

A.R.T. = 102 g/l e 101 g/l

Vazão = 34 l/h

Tempo de esgotamento = 55h

C A P Í T U L O I I I

INFLUÊNCIA DA AGITAÇÃO NA FERMENTAÇÃO CONTÍNUA

As aparelhagens utilizadas nesta parte de nosso trabalho diferem, das descritas nos Capítulos anteriores , apenas pela existência de agitador na dorna de fermentação, agitador êsse disposto como indica a Figura 27.

O melaço usado para o preparo do mosto apresentava 53,1% de açúcares redutores totais.

As experiências foram realizadas segundo a orientação geral apontada nos Capítulo I e II, com a seguinte diferença: antes de iniciarmos a alimentação da dorna através da caixa de nível constante, o agitador era posto em funcionamento.

Experiência nº 23

(Realizada na instalação piloto)

Mosto inicial: A.R.T. = 100 g/l

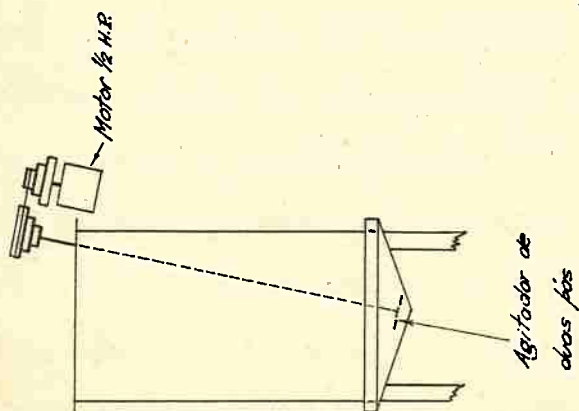
acidez (em H_2SO_4) = 0,93 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 99 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,2 g/l

FIG. 27

Disposição do agitador no dorno de fermentação



Capacidade do dorno (litros)	Dimensões do agitador (cm)	
	diâmetro	altura das pás
100	8	18
1800	16	25

Agitador com 660 r.p.m.

Vasões de alimentação ensaiadas:

64 l/h

80 l/h

Tempos respectivos de esgotamento da dorna:

28 h

23 h

Resultado: fermentação praticamente completa (ver Figura 28)

Comparando êste resultado com os obtidos no Capítulo II, podemos avaliar a influência acentuada da agitação no tempo de esgotamento da dorna, o que vem confirmar resultados que obtivemos em nossa Tese de Concurso à Docência Livre (1).

Não conseguimos, até o presente momento, reproduzir na instalação semi-pilôto os resultados observados na instalação pilôto. As experiências que realizámos com diferentes estados de agitação, e que serão adiante descritas, mostram um efeito prejudicial da agitação, isto é, aumento do tempo de esgotamento da dorna para que a fermentação seja completa. E' provavel que, na dorna de 100 litros, o próprio estado de agitação criado pelo desprendimento do gás carbônico seja o mais favorável para a realização da fermentação contínua. Aliás, os valores encontrados para os tempos

de esgotamento da dorna no Primeiro Grupo de Experiências do Capítulo I, e na Experiência nº 23, parecem confirmar tal hipótese.

Experiência nº 24

(Realizada na instalação semi-pilôto)

Mosto inicial: A.R.T. = 105 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,5 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 103 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,5 g/l

Agitador com 660 r.p.m.

Vasão de alimentação = 6,0 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 17 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 29)

Experiência nº 25

(Realizada na instalação semi-pilôto)

Mosto inicial: A.R.T. = 104 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,4 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 107 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,5 g/l

Agitador com 660 r.p.m.

Vasão de alimentação = 5,1 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 20 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 30)

Experiência nº 26

(Realizada na instalação semi-pilôto)

Mosto inicial: A.R.T. = 111 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,2 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 109 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,2 g/l

Agitador com 550 r.p.m.

Vasão de alimentação = 5,1 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 20 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 31)

Experiência nº 27

(Realizada na instalação semi-pilôto)

Mosto inicial: A.R.T. = 107 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,3 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 106 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,2 g/l

Agitador com 550 r.p.m.

Vasão de alimentação = 4,6 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 22 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 32)

Experiência nº 28

(Realizada na instalação semi-pilôto)

Mosto inicial: A.R.T. = 103 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,2 g/l

Mosto de alimentação: A.R.T. = 102 g/l

acidez (em H_2SO_4) = 1,2 g/l

Agitador com 450 r.p.m.

Vasão de alimentação = 5,0 l/h

Tempo de esgotamento da dorna = 20 h

Resultado: fermentação incompleta (ver Figura 33)

Em resumo (ver Tabela VII), as experiências descritas no presente capítulo nos mostram que:

- a) na instalação pilôto, uma agitação mais intensa do que a provocada pelo desprendimento do gás carbônico acarreta diminuição considerável no tempo de esgotamento da dorna;
- b) na instalação semi-pilôto, uma agitação mais intensa do que a produzida pelo desprendimento do gás carbônico tem

como consequência um aumento do tempo de esgotamento da dorna;

c) na instalação semi-pilôto, tudo parece indicar que o estado de agitação provocado pelo desprendimento do gás carbônico seja o mais favorável para a realização da fermentação contínua.

- 0 -

T A B E L A VII

Influência da agitação

Experiência nº	Instalação	Mosto inicial		Mosto de ali- mentação		R.P.M. do agitador	Vasão de alimentação (l/h)	Tempo de esgotamento da dorna (h)	RESULTADO	Ver fig. nº
		A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)	A.R.T. (g/l)	Acidez em H_2SO_4 (g/l)					
23	P	100	0,93	99	1,2	660	64	28	F.C.	28
							80	23	F.C.	
24	S.P.	105	1,5	103	1,5	660	6,0	17	F.I.	29
25	S.P.	104	1,4	107	1,5	660	5,1	20	F.I.	30
26	S.P.	111	1,2	109	1,2	550	5,1	20	F.I.	31
27	S.P.	107	1,3	106	1,2	550	4,6	22	F.I.	32
28	S.P.	103	1,2	102	1,2	450	5,0	20	F.I.	33

P = pilôto

S.P. = semi-pilôto

F.C. = fermentação completa

F.I. = fermentação incompleta

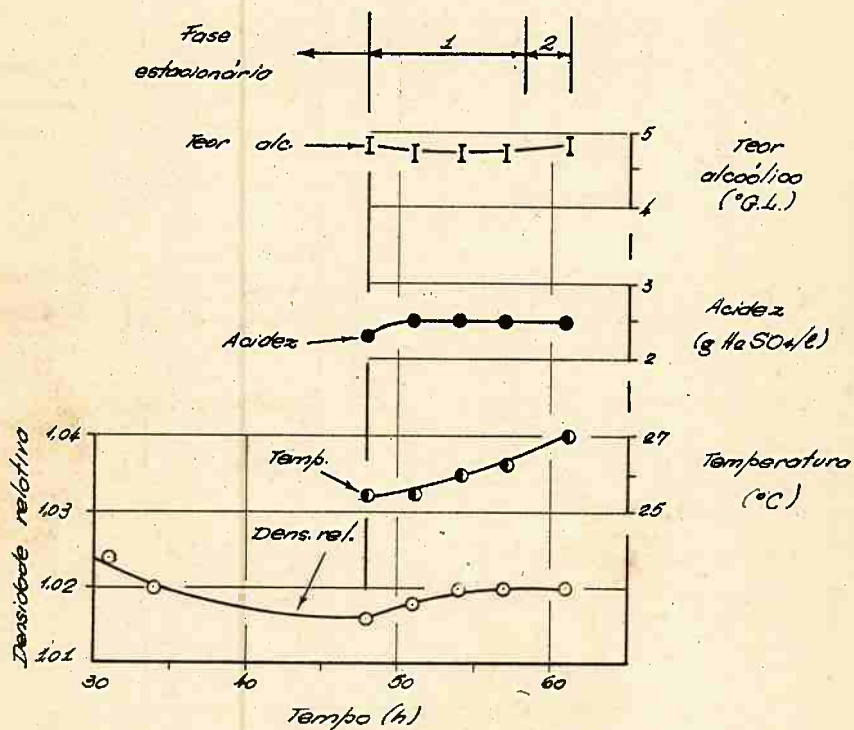


Fig. 28

Resultados obtidos na Experiência nº 23

A.R.T. = 100 g/l e 99 g/l

Agitador com 660 r.p.m.

Fase nº	1	2
Velocidade (l/h)	80	64
Tempo de esgotamento (h)	23	28

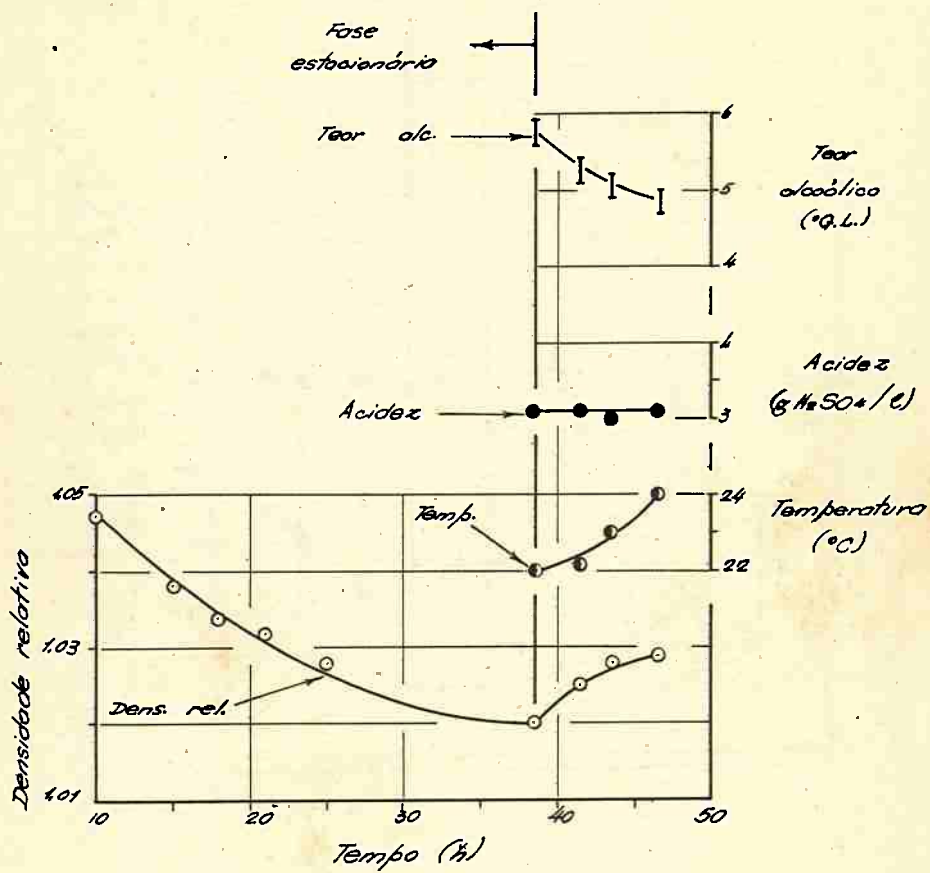


Fig. 29

Resultados obtidos na Experiência n° 24

A.R.T. = 105 $\frac{g}{l}$ e 103 $\frac{g}{l}$
 Vasão = 6.0 $\frac{l}{h}$
 Tempo de esgotamento = 17h
 Agitador com 660 r.p.m.

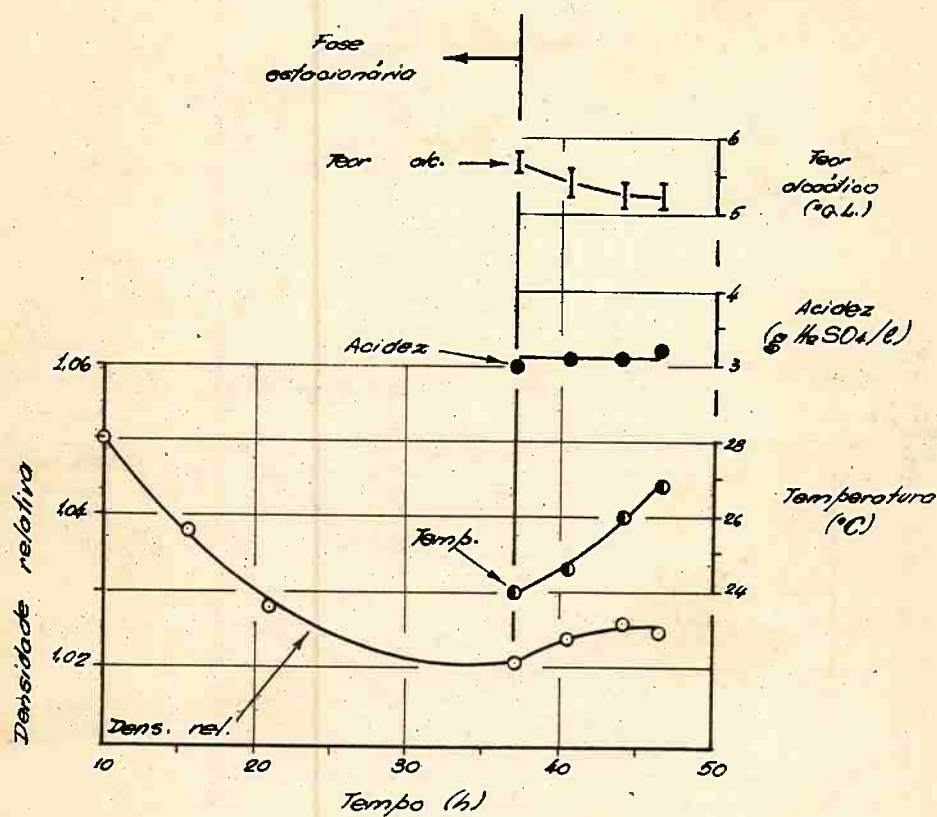


Fig. 30

Resultados obtidos na Experiência nº 25

A.R.T. = 104 g/l e 107 g/l

Vasão = 5,1 l/h

Tempo de esgotamento = 20h

Agitador com 660 r.p.m.

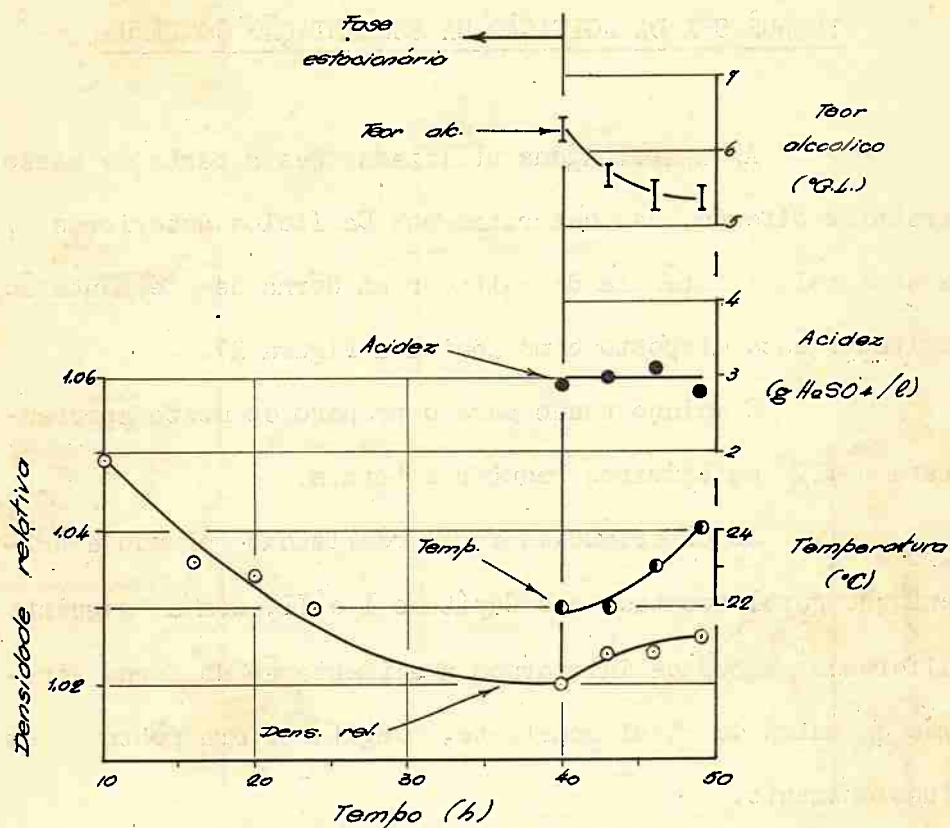


Fig. 31

Resultados obtidos na Experiência nº 26

A.R.T. = 111 g/l e 109 g/l
 Vasão = 5,1 l/h
 Tempo de esgotamento = 20h
 Agitador com 550 r.p.m.

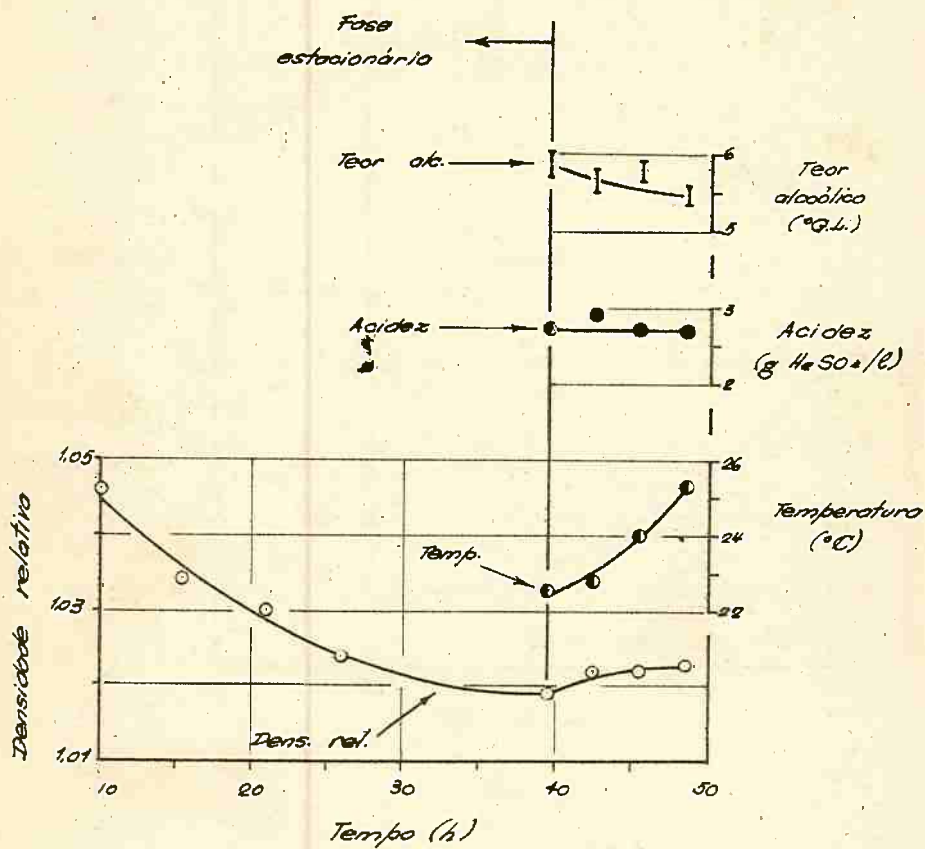


Fig. 32

Resultados obtidos na Experiência nº 27

A.R.T. = 107 g/l e 106 g/l

Vasão = 4.6 l/h

Tempo de esgotamento = 22 h

Agitador com 550 r.p.m.

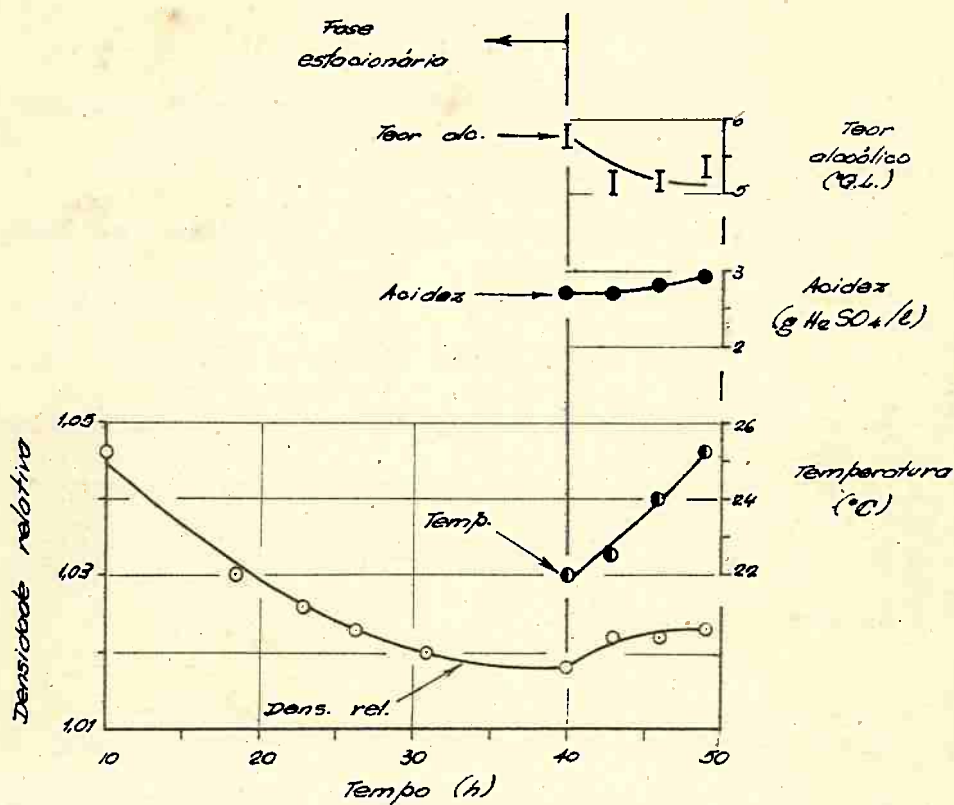


Fig. 33

Resultados obtidos na Experiência nº 28

A.R.T. = 103 g/l e 102 g/l
 Vasão = 5.0 l/h
 Tempo de esgotamento = 20h
 Agitador com 450 r.p.m.

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES

O trabalho que realizámos até o presente momento permite concluir:

- 1 - é possível fermentar continuamente, pelo "fermente Fleischmann", mosto de melaço, não esterilizado, corrigido, sem agitação, em dorna de 100 litros de capacidade útil.
- 2 - no caso indicado no item anterior, a relação entre o tempo de esgotamento da dorna em horas (T), e a concentração de açúcares redutores totais no mosto em g/l (C), é dada por:

$$T = 2,17 \cdot 10^{-3} \cdot C^2$$

para C variando de 0 a 180 g/l. Se considerarmos a variação de C apenas no intervalo 100 a 180 g/l, poderemos ainda escrever:

$$T = 0,619 C - 42,0$$

- 3 - é possível justificar teoricamente a primeira das equações apontadas no item anterior, admitindo que a transformação dos açúcares em álcool etílico e gás carbônico seja de ordem -1.

- 4 - é possível fermentar continuamente, pelo "fermento Fleischmann", mosto de melaço (A.R.T. = 100 g/l), não esterilizado e não corrigido, sem agitação, em dorna de 1.800 litros de capacidade útil, com um tempo de esgotamento da dorna igual a 55 horas.
- 5 - a agitação do material em fermentação, na dorna de ... 1.800 litros, diminui o tempo de esgotamento da dorna de 55 horas para 23 horas aproximadamente.
- 6 - a agitação do material em fermentação, na dorna de 100 litros, é prejudicial; é possível que, neste caso, o estado de agitação mais favorável ao desenvolvimento da fermentação contínua seja o já produzido pelo desprendimento do gás carbônico.
- 7 - o uso do sal de potássio da penicilina G, na concentração de 1 U.I./ml, inibindo a ação de bactérias ácido-produtoras durante a fermentação alcoólica de mosto de melaço, determina aumento do rendimento da fermentação.
- 8 - o uso do sal de potássio da penicilina G, na concentração de 1 U.I./ml, não influi no tempo de esgotamento da dorna.

A P Ê N D I C E

INDICAÇÕES SOBRE OS PROCESSOS ANALÍTICOS

Com ligeiras modificações, empregamos, neste trabalho, os mesmos processos analíticos de que lançamos mão em "Fermentação Alcoólica Contínua de Mosto de Melão" (1).

1ª - Determinação dos teores de açúcares redutores totais no melão e no mosto (11, 12 e 13).

Soluções necessárias:

- a) Solução de acetato de chumbo: dissolver 250,0 g do acetato em 500 ml de água destilada, filtrar e diluir com água destilada até alcançar uma densidade relativa igual a .. 1,255 (54,0° Brix).
- b) Solução de oxalato de sódio e monohidrogênio fosfato de sódio: dissolver 30,0 g do oxalato e 70,0 g do fosfato em água destilada suficiente para completar um volume de 1.000 ml.
- c) Solução de sulfato de cobre II: dissolver 138,58 g do sulfato ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) em água destilada suficiente para completar um volume de 2.000 ml; filtrar em amianto,

se necessário. Esta é a Solução A do Reativo de Fehling.

- d) Solução de hidróxido de sódio e de tartarato de sódio e potássio (sal de Seignette): dissolver 200 g do hidróxido e 692 g do tartarato em água destilada suficiente para completar um volume de 2.000 ml; deixar em repouso durante 48 horas e, a seguir, filtrar em amianto, se necessário. Esta é a solução B do Reativo de Fehling.
- e) Solução de azul de metileno: dissolver 1,00 g de azul de metileno em água destilada suficiente para completar um volume de 100 ml. Esta solução é o indicador do ponto final das titulações do Reativo de Fehling com as soluções contendo açúcares redutores.
- f) Solução "concentrada" de ácido clorídrico ($d=1,19; 37,6\%$ de HCl).
- g) Solução 2 n de hidróxido de sódio.
- h) Solução de fenolftaleína em álcool etílico, a 10 g/l.

Determinação do teor de A.R.T. no melaço

Resumiremos o processo analítico da seguinte maneira:

- a) dissolver uma quantidade de melaço de massa conhecida (cerca de 26 g) em água destilada suficiente para comple

- tar um volume de 100 ml.
- b) tomar 50,0 ml da solução obtida, adicionar cerca de 100 ml de água destilada e clarificar com 3,0 ml da solução de acetato de chumbo.
 - c) elevar o volume a 200 ml e filtrar (papel faixa azul, S&S, nº 589), rejeitando os primeiros mililitros do filtrado.
 - d) tomar 50,0 ml do filtrado e adicionar 5,0 ml da solução de fosfato dissódico e oxalato de sódio.
 - e) elevar o volume a 100 ml, adicionar cerca de 0,2 g de "kieselguhr" e filtrar (papel faixa azul, S&S, nº 589), rejeitando os primeiros mililitros do filtrado.
 - f) tomar 50,0 ml do filtrado e adicionar 6,0 ml da solução "concentrada" de ácido clorídrico.
 - g) aquecer em banho de água a 75-80°C (temperatura do banho) durante 40 minutos.
 - h) após resfriamento, alcalinizar com solução 2 n de hidróxido de sódio, usando fenolftaleína como indicador (3 gotas da solução alcoólica).
 - i) elevar o volume a 200 ml e titular, com a solução assim obtida, 10,0 ml do Reativo de Fehling usando azul de metileno como indicador. O Reativo de Fehling deve ter sido previamente titulado com uma solução de concentração

conhecida em açúcares redutores totais (solução de sacarose de concentração aproximadamente igual a 4,8 g/l, hidrolisada como indicámos nos itens f e g, ou solução de glicose a cerca de 5,3 g/l).

Determinação da concentração de A.R.T. no mosto

O processo é idêntico ao anterior, partindo do item b.

Titulação do reativo de Fehling

Utilizámos a seguinte técnica:

- a) em um erlenmeyer de 250 ml, colocar 5,0 ml da solução A, 5,0 ml da solução B e aproximadamente 30 ml de água destilada.
- b) adicionar uma quantidade tal de solução contendo açúcares redutores, de maneira a se atingir o ponto final por adição de mais 1 a 2 ml.
- c) aquecer até fervura, juntando então 5 gotas da solução de azul de metileno.
- d) sempre com o líquido fervendo, adicionar, gota à gota, a solução de açúcares redutores, até desaparecer a cor azul.

2ª - Determinação da acidez do mosto e do vinho.

- a) colocar 5,0 a 10,0 ml de mosto ou de vinho em um erlenmeyer de 500 ml.
- b) adicionar cerca de 200 ml de água destilada e 5 gotas da solução de fenolftaleína.
- c) titular com solução 0,1 n de hidróxido de sódio. O resultado é calculado em gramas de H_2SO_4 por litro.

3ª - Determinação do teor de álcool etílico no vinho (14).

- a) 50,0 ml de vinho, medidos em balão aferido, são colocados em um balão de destilação.
- b) adicionar cerca de 0,1 g de tanino.
- c) destilar, recolhendo aproximadamente 40 ml de destilado no balão aferido que serviu para medir o volume do vinho.
- d) completar o volume com água destilada e medir a densidade relativa da solução resultante, a 15°C, pela balança de Westphal. Em função da densidade relativa, há tabelas (15) que nos fornecem o teor alcoólico da solução.

Observações:

I - nas experiências nºs 2, 3, 4, 5, 6 e 7, por não dispormos de balança de Westphal, a densidade re

lativa da solução foi determinada pelo processo da balança hidrostática.

II - na experiência nº 23, a dosagem do álcool foi feita a partir de 250 ml de vinho, e com auxílio de um alcoômetro graduado de 0,2 em 0,2° G.L. A correção de temperatura foi efetuada pelas tabelas transcritas por Almeida (16).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BORZANI, W., *Fermentação Alcoólica Contínua de Mosto de Melaço*, Tese de Concurso à Docência Livre da Cadeira nº 29, Bioquímica, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1952. Publicada com algumas modificações na Revista de Engenharia Química, Vol. I, nº 1 (1953).
- (2) Council of Scientific and Industrial Research, *Fermentation Process*, in Chemical Abstracts, 47 (1953)P 820c.
- (3) SREENIVASAYA, M. and ASWATHANARAYANA RAO, S.R., *Effect of Porous Solids on the Course of Alcoholic Fermentation*, in Chemical Abstracts, 48 (1954), 947 c.
- (4) MALCHENKO, A.L. and CHISTIakov, M.P., *Fermentation in a continuous production of alcohol*, in Chemical Abstracts, 47 (1953), P 11654 c.
- (5) MELONI, G., *L'Industria dell'Alcole*, II Volume,pg. 275, Editore Ulrico Hoepli, Milano (1953).
- (6) French Syndicate of Agricultural Distillers, *Continuous Fermenting of Beet Juice, Sugar*, 48, 45-7 (1953).
- (7) MARILLER, C., MEJANE, J., MARTRAIRE, M. e TOURLIÈRE, S. *Fermentations continue de mouts de beterraves*, Inds. agric. aliment. 11, 775-81 (1952).
- (8) KOZENKO, E.M., *Fermentation Process by Continuous Flow of Wine*, in Chemical Abstracts, 48 (1954), 4173 i.
- (9) BORZANI, W., *Concentração de Leveduras no Fermento Prensado*, Engenharia e Química, Vol. VII, nº 2, 5-7, (1955).
- (10) DAY, W.H., SERJAK, W.C., STRATTON, J.R. and STONE, L., *Antibiotics as Contamination-Control Agents in Grain Alcoholic Fermentations*, J. agric. Food chem. 2, 252 (1954).

- (11) BAETA NEVES, L.M., Tecnologia da Fabricação do Alcool, pg. 219 e seguintes, Editado pela Revista Brasileira de Química, São Paulo (1938).
- (12) DEER, N., Cane Sugar, Second Edition, pg. 522 (1921).
- (13) GRIFFIN, R.C., Technical Methods of Analysis, Second Edition, pg. 543 (1927).
- (14) BORZANI, W. e FALCONE, M., Estudo sobre os Processos de Dosagem de Alcool em Vinhos resultantes da Fermentação de Mosto de Melaço, Bol. assoc. brasil. quim. X, 5 (1952).
- (15) ALMEIDA, J.R., Alcool e Distilaria, pg. 304, Livraria e Papellaria Brasil, Piracicaba (1940).
- (16) ALMEIDA, J.R., Alcool e Distilaria, pg. 277, Livraria e Papellaria Brasil, Piracicaba (1940).
- (17) VERONA, O., Microbiologia delle Fermentazioni e Microbiologia Industriale, pg. 72, Casa Ed. Dr. Luigi Macri, Firenze (1950).

