

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da tese
defendida por Enrique Ortega Rodriguez e aprovada
pela Comissão Julgadora em 14.12.90.
Campinas, 14 de dezembro de 1990.

ENRIQUE ORTEGA RODRIGUEZ

Engenheiro Químico
Mestre em Ciências de Alimentos

DESENVOLVIMENTO DE UM DIFUSOR
PARA MINI-USINAS DE ALCOOL

ORIENTADORA

Profa. Dra. Maria Angela de Almeida Meirelles Petenate.

17/90

Tese apresentada a
Faculdade de Engenharia de Alimentos
da Universidade Estadual de Campinas,
para obtenção do título de
Doutor em Engenharia de Alimentos.

20141007-5

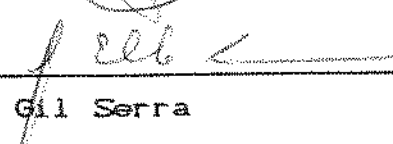
UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

BANCA EXAMINADORA:

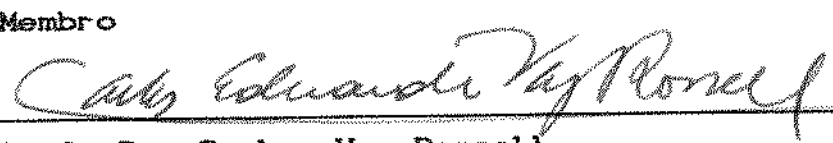


Profa. Dra. M. Angela de Almeida Meirelles Petenate
Orientadora


Profa. Dra. Florencia Cecilia Menegalli
Membro


Prof. Dr. Gil Serra
Membro


Prof. Dr. Manfred Fehr
Membro


Prof. Dr. Carlos Vaz Rossell
Membro

Suplente

Prof. Dr. Alfredo Vitali
Membro

Suplente

Prof. Dr. Theo G. Kieckbusch
Membro

Campinas, 14 de dezembro de 1990.

AGRADECIMENTOS:

A orientadora da tese Professora Maria Angela de Almeida Meirelles Petenate, pelo estímulo, disposição e assessoria.

Aos colegas do Departamento de Engenharia, especialmente a Fernando Cabral, Florencia Menegalli, Celso Costa Lopes, Miriam Hübinger, Antonio José Meirelles, Luiz Antonio Viotto, Isabel Rodrigues, Francisco Maugery pela amizade e sugestões.

Aos alunos da Unicamp que participaram em distintas etapas e trabalhos desta pesquisa: Paulo R. Biondi, Luciano Cavinato, Pedro L. Pagin, Tulio A. Ribeiro, Benedita A. Ribeiro, Karina O. dos Santos, José A. Almeida, Adalberto A. Ribeiro, Vinicius Val de Casas, Claudia Perecin, Renata Zangelmi, Joelma A. Gouveia.

Aos funcionários e técnicos da FEA pela ajuda nos trabalhos de oficina e operacionais.

A Associação Brasileira da Indústria de Alimentação pelo patrocínio das copias xerográficas da tese.

A Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia "André Tosello" pelo financiamento da construção e dos testes de funcionamento do difusor de planta piloto.

A todos aqueles cujo nome omiti, por economia de espaço ou falha de memória ou timidez, aos quais agradeço o incentivo e a ajuda dada na preparação desta tese.

A Cezira, Trini, Enrique, Elisa, Maria Eugénia pelo carinho, a confiança, a paciência e o respeito para com meu trabalho.

RESUMO:

A produção de etanol pode ser feita em grande escala ou em mini-usinas. De um ponto de vista mais amplo, que inclui os aspectos social, econômico e ecológico, a produção em pequena escala pode ser mais interessante e tem se mostrado viável, segundo pesquisas realizadas e também tendo visto o desempenho de algumas instalações já em funcionamento. Nessa escala de produção há espaço para um equipamento de extração diferente das moendas: o difusor ou extrator sólido-líquido.

A presente pesquisa procurou determinar os parâmetros básicos para cálculos de extração sólido-líquido.

Estudou-se a influência do tamanho das partículas (grau de preparação) e da temperatura do solvente na velocidade de extração e nas linhas de sólidos drenados obtidas no processo em batelada. Também estudou-se a influência da modificação do pH, por adição de cal, no grau de extração. Vários modelos de análise do processo em batelada foram utilizados para interpretação dos resultados.

A informação foi empregada no projeto de um difusor de 9 estágios, contínuo, em contracorrente, com capacidade para processar 10 kg de cana por hora e de obter a separação de 85 até 90% dos sólidos solúveis da cana, trabalhando à temperatura ambiente e com um tempo de residência de 22 a 24 minutos.

Os testes realizados no difusor em operação contínua permitiram a determinação de métodos de cálculo computacional com resultados gráficos que poderão ser usados na simulação e no controle de operação do equipamento construído ou de difusores similares usados na extração de cana-de-açúcar.

SUMMARY:

Ethyl alcohol can be produced from sugar-cane in big scale or in intermediate scale factories ("mini-usinas"). From the broadest point of view, that includes the social and ecologic aspects besides the economic, the production in intermediate scale is more interesting and recent researches have proved its technical and economical viability. In this kind of factories exist opportunity for a new way of extraction of sugar cane soluble sugars, instead of mills, the solid-liquid extractor, also called diffusor.

The aim of the present work was to determine in the laboratory the basic parameters needed to design a solid-liquid extractor.

Special attention was destined to measure the influence of particle size, temperature of solvent in the rate of extraction for batch processing. The effect of modification of pH of the liquid phase, by addition of hydrated lime, on the degree of extraction was also measured. The underflow practical equilibrium lines for the cominuted sugar cane were determinated in various levels of temperature and sizes of particle.

This information was applied in the project of a countercurrent extractor with 9 stages and a capacity of 10 kg/h of cominuted sugar cane using water as solvent. This equipment working with a residence time of 22 to 24 minutes, in a continuous fashion, at room temperature (around 25°C), achieved an efficiency of 85 to 90%.

The trials conducted in the diffusor made possible to obtain a suitable method of calculation for the process, so as operation control graphs.

NOMENCLATURA EMPREGADA NOS CAPITULOS 2 E 4:

- A Area (m^2)
 A_s Area superficial (m^2)
 a distância do centro da partícula até a superfície (mm)
 Bi número de Biot, definido pela expressão:

$$Bi = \frac{k \cdot L_c}{De}, \quad \text{também:} \quad Bi_n = \frac{k \cdot L_c}{De \cdot K_p}$$

usado nos processos transientes de transferência de massa para comparar a magnitude relativa da condução (difusão) dentro do sólido e a transferência convectiva de massa do sólido ao líquido.

- °C graus Celsius de temperatura

D difusividade, $D = \frac{D_s}{\tau}$, (m^2/s)

- De coeficiente de difusão ou difusividade efetiva (m^2/s) conforme a equação:

$$De = \frac{D_s \cdot e}{\tau} \quad \text{ou} \quad De = D \cdot e$$

- De' difusividade variável em função da concentração, que incorpora tanto o valor alto relativo a difusão livre inicial quanto a difusão impedida final.

- Df difusividade efetiva relativa à etapa final de extração na qual o coeficiente de difusão possui um valor relativamente muito pequeno (m^2/s)

- Ds difusividade livre de açúcar em água (m^2/s)

- e porosidade ou relação de espaços vazios (m^3 de espaço livre / m^3 de sólido poroso)

- Fick número de Fick, definido pela expressão:

$$Fick = De \cdot t/a^2$$

- K coeficiente de sorção de Langmuir.

- k coeficiente convectivo de transferência de massa (m/s), definido pela equação empírica:

$$\left[\frac{Na}{A} \right]_{r,s} = k [\bar{X}_s - X_l]$$

Kp coeficiente de partição, definido pela equação:

$$Kp = \frac{X_{t \rightarrow \infty}}{Y_{t \rightarrow \infty}},$$

que relaciona as concentrações de soluto no sólido e no líquido, no equilíbrio (parcial) atingido num tempo limitado que se considera como infinito para fins práticos.

L subíndice relativo ao valor médio da concentração no seio do líquido.

Lc dimensão característica (m).

ls espessura da última camada de sólido (superfície).

m unidade SI de distância, metro

mm milímetro

Na vetor de fluxo mássico, relativo a espécie ou componente A (kg/s)

qn raízes positivas, não nulas e sucessivas da função implícita:

$$\tan qn = \frac{3qn}{3 + \alpha qn^2}$$

R raio da partícula (m)

r raio (variável) da partícula (m)
quando subíndice relativo a direção do raio.

s subíndice relativo a superfície da partícula

s unidade SI de tempo, segundo

t tempo (variável) de contato

Ve volume de extrato (m³ de líquido)

Va volume do líquido no residuo sólido (m³ do líquido)

X concentração da fase sólida no instante t, em kg soluto/ m³ líquido (presente no sólido).

Xo concentração no sólido no instante inicial.

Xs concentração na superfície do sólido.

Xl concentração da fase sólida que estaria em equilíbrio com a concentração média na fase líquida, de acordo com a equação:

$$Xl = Kp Y$$

X_m concentração do soluto mobilizado, no espaço intercelular.

$X_{i, \max}$ concentração máxima possível de soluto dentro das células intactas.

$X_{t \rightarrow \infty}$ concentração no sólido, no tempo considerado infinito quando se atinge um equilíbrio parcial.

Y concentração na fase líquida (kg de soluto/ m^3 de líquido), no instante t .

Y_0 idem, no instante inicial

$Y_{t \rightarrow \infty}$ idem, no tempo considerado infinito para fins práticos quando se atinge um equilíbrio parcial.

Y_{∞} idem, no tempo infinito quando todo o soluto foi solubilizado.

α fator de separação, (kg soluto no extrato líquido/ kg de soluto no sólido residual), definido pela equação:

$$\alpha = \frac{V_E}{V_r K_p}$$

β coeficiente experimental de sorção, definido pela equação:

$$\beta = K \cdot X$$

β_n raízes positivas, não nulas e sucessivas da função implícita:

$$\beta_n \cot \beta_n + B_i - 1 = 0$$

∂X diferencial parcial da concentração na fase sólida

∂Y diferencial parcial da concentração na fase líquida

∂t diferencial parcial do tempo

∂r diferencial parcial do raio

τ fator de tortuosidade, adimensional

NOMENCLATURA EMPREGADA NOS CAPITULOS 5 E 8:

Composição:

$X_{i,j}$ = fração mássica do componente i, na fase sólida j.

$Y_{i,j}$ = fração mássica do componente i, na fase líquida j.

Componentes:

s = soluto ou sólidos solúveis (açúcares, dos quais 90% é sacarose).

a = água.

f = fibra (material insolúvel constituído basicamente por celulose, com pequenas quantidades de lignina, proteína e outros materiais).

Fases:

e = fase líquida em processamento (extratos intermediários).

m = fase sólida em processamento (megaços em trânsito).

Insumos e Produtos:

C = matéria-prima (Cana de açúcar).

A = solvente utilizado (Água limpa).

E = extrato líquido final ou Extrato.

M = residuo sólido final ou Megaço.

Variáveis operacionais:

T = temperatura, em graus Celsius.

dp = diâmetro médio de partícula, em milímetros.

t = tempo de contato sólido-líquido, em minutos.

B = kg de soluto / 100 kg de solução;
grau Brix da solução obtida (que pode ser um caldo intermediário ou o extrato final).

B* = grau Brix correspondente à solução ideal de todo o soluto e toda a água da cana-de-açúcar empregada no ensaio com toda a água adicionada como solvente para fazer a extração.

(B/B*) = grau de extração possível, de acordo com a pesquisa à nível de bancada de laboratório.

BC = kg de sólidos solúveis/ 100 kg caldo da matéria-prima; grau Brix natural da cana-de-açúcar, sem adição de solvente.

BE = kg de sólidos solúveis/ 100 kg caldo do extrato final; grau Brix da solução desejada como caldo final de extração.

F = fator de ajuste dos dados experimentais de grau de extração em batelada com as condições reais de operação do difusor de planta-piloto.

H = rendimento de extração previsto para o difusor de planta-piloto.

(M/C) = kg de Megaço/ kg de Cana.

Xf,m = kg de fibra/ kg de megaço em processo.

Q = 1 - Xf,m = (kg soluto + kg água)/ kg de megaço.

Construção do diagrama triangular:

$\Delta(X_p, Y_p)$ = ponto focal das linhas auxiliares do diagrama triangular (linhas de mistura virtual).

S_{n-1} = Sólido do estágio n-1.

L_n = Líquido do estágio n.

x,y = coordenadas do diagrama triangular para fins explicativos.

n = número do estágio em cálculo.

mn = fase sólida do estágio n.

en = fase líquida do estágio n.

Z = ponto de união de L₂ + S₀ e L₁ + S₁, e, em geral, de L_{n+1} + S_{n-1} e L_n + S_n.

K = ponto de união das misturas A + C e de E + M.

N = número total de estágios do difusor calculado.

H' = eficiência do difusor obtida nos cálculos.

X

ÍNDICE GERAL:

RESUMO.	IV
SUMMARY.	V
NOMENCLATURA.	VI
1. INTRODUÇÃO.	
1.1 Importância da tecnologia de mini-usinas de álcool	1
1.2 A opção pelo difusor tipo Kennedy na extração dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar	5
1.3 Justificativas da pesquisa	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	
2.1 Antecedentes	8
2.2 Informação obtida na época de definição da pesquisa	9
2.3 Modelos para análise da extração em batelada:	12
2.3.1 Equações que consideram um coeficiente de película	
2.3.1.1.a Equação de Coulson e Richardson	13
2.3.1.1.b Equação para o sólido poroso com células abertas	14
2.3.1.2 Equação de Brüniche-Olsen	18
2.3.2 Equações de processo difusional	
2.3.2.1 Equação de Crank	20
2.3.2.2 Equação de Soddu e Gioia	24
2.3.2.3 Equação de Newman	25
2.3.2.4 Equação empírica	27
2.4 Modelos para análise da extração em regime contínuo:	
2.4.1 Diagrama Triangular	27
2.4.2 Diagrama triangular modificado	27
2.4.3 Método de Plachco e Krasuk	27

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

3.1 Materiais:

3.1.1 Cana-de-açúcar	30
3.1.2 Água	32
3.1.3 Cal	32

3.2 Métodos:

3.2.1 Armazenamento da matéria-prima	32
3.2.2 Preparação	32
3.2.3 Brix	32
3.2.4 Umidade	34
3.2.5 Temperatura	34
3.2.6 Embebição	34
3.2.7 Determinação do tamanho de partícula	35
3.2.8 Equipamento e procedimentos usados na extração em batelada	36
3.2.9 Equipamento e procedimentos usados na extração em contínuo	39
3.2.10 Cálculos básicos de composição e grau de extração	43

4. EXTRAÇÃO EM BATELADA.

4.1 Objetivo	47
4.2 Resultados	47
4.3 Propostas para análise dos resultados:	
4.3.1 Equação de Crank (processo seqüencial)	60
4.3.2 Equações de Soddu e Gioia	61
4.3.3 Modelo misto de Newman e Crank (processo seqüencial)	62
4.3.4 Equação empírica	64

4.4	Análise dos resultados	
4.4.1	Parâmetros da fase inicial	64
4.4.2	Parâmetros da fase final	65
4.5	Conclusões do estudo de extração em batelada	65
5.	EXTRAÇÃO CONTÍNUA.	
5.1	Considerações iniciais	68
5.2	Os pontos relativos aos insumos e aos produtos	
5.2.1	Matéria prima	68
5.2.2	Solvente	69
5.2.3	Extrato final	69
5.2.4	Resíduo sólido	
5.2.4.1	Curva dos sólidos drenados	71
5.2.4.2	Grau de extração	72
5.2.4.3	Fórmulas para cálculo da composição do resíduo	72
5.3	Cálculo dos estágios na extração contínua	74
5.4	Resultados	74
5.5	Programa de simulação	75
5.6	Análise dos resultados	82
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.	
6.1	Sobre o tempo no processo de extração	89
6.2	Influência do tamanho de partícula	90
6.3	Influência da temperatura	90
6.4	Influência do pH	91
6.5	Eficiência do extrator	91
6.6	Avaliação do difusor testado	92
6.7	Sugestões	93

8.1 Comentários aos programas de simulação da extração sólido-líquido de açúcar de cana, em batelada.

8.1.1 Difsvde1 (Crank, fase inicial)(114)

8.1.2 Difsvde2 (Crank, fase final)(118)

8.1.3 Crankr (Crank seqüencial, efeito do raio)(121)

8.1.4 Crankt (Crank seqüencial, efeito da temperatura)(126)

8.1.5 Theta (Metodo Theta, fase inicial)(132)

8.1.6 Beta (Crank-Nicholson/fase inicial, Soddu/fase final)(137)

8.1.7 BiBeTemp (Beta para várias temperaturas)(150)

8.1.8 BiBeRaio (Beta para vários raios de partícula)(144)

8.1.9 Newman1 (Newman, fase inicial)(157)

8.1.10 NewRaio (Newman/ início, Crank/ final, vários raios)(161)

8.1.11 NewTemp (Newman/ início, Crank/ final, p/temperaturas)(166)

8.1.12 GrafRaio (gráfico com resultados de NewRaio)(disco)

8.1.13 GrafTemp (gráfico com resultados de NewTemp)(disco)

8.1.14 ShowTelas (mostra GrafRaio e GrafTemp)(172)

8.2 Procedimento de cálculo dos estágios na extração contínua pelo método do diagrama triangular.

105

8.3 Programas de simulação da extração sólido-líquido de açúcar de cana, em extrator contínuo à contracorrente.

8.3.1 Difusor ideal (Programa básico)(173)

8.3.2 Difusor real (Programa modificado)(179)

8.4 Pacote didático para o ensino da operação unitária de extração sólido-líquido ("livro digital")(disco)

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 p. 3	Diagrama de blocos de um Sistema Integrado de Produção de Alimentos e Energia (SIPAED).
Figura 1.2 p. 4	Fluxograma de uma mini-usina de álcool, com difusor, fazendo parte de um Sistema Integrado de Produção de Alimentos e Energia.
Figura 2.1 p. 19	Coefficiente de extração para fatias planas e finas de cana de açúcar e beterraba açucareira. [Brüniche-Olsen, 1969].
Figura 2.2 p. 24	Curvas de difusividade efetiva no sólido (D_e) versus espessura da fatia de sólido, na extração de solutos de cana, com água a 75°C, em batelada. [Schwarzberg e Chao, 1982].
Figura 3.1 p. 33	Moinho triturador, de rodas dentadas, da Metalúrgica Veneta (São Paulo).
Figura 3.2 p. 33	Moinho triturador para cana-de-açúcar, de tipo faca e martelos, modelo DPM-1, marca Nogueira (Itapira).
Figura 3.3 p. 37	Tinas para extração em batelada, que simulavam um extrator tipo Kennedy, com dispositivo de uso opcional de aquecimento e recirculação de líquido.
Figura 3.4 p. 38	Aparelhagem usada na maior parte das experiências de extração dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar, em batelada, usando leite inundado.
Figura 3.5 p. 41	Esquema do difusor de planta piloto, de tipo Kennedy, usado na pesquisa de extração contínua dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar.
Figura 3.6 p. 42	Cálculo gráfico do número de estágios teóricos do extrator de planta piloto, funcionando à 67°C, prevendo uma extração de 90% dos solutos da cana preparada em triturador Veneta e considerando uma eficiência média de estágio de 70%.
Figura 4.1 p. 48	Efeito do tamanho de partícula no grau de extração (B/B^*) no decorrer da extração em batelada, em leite inundado, dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar à temperatura ambiente (23°C).
Figura 4.2 p. 50	Efeito da temperatura do meio no grau de extração (B/B^*) no decorrer da extração em batelada, em leite inundado, dos sólidos solúveis da cana de açúcar para partículas de tamanho médio (1,9 mm).

- Figura 4.3
p. 51 Logaritmo natural da relação $[1-B/B^*]$ versus tempo, na extração do soluto da cana-de-açúcar, para vários tamanhos de partícula, à temperatura ambiente (23°C), em leite inundado pouco agitado.
- Figura 4.4
p. 52 Logaritmo natural da relação $[1-B/B^*]$ versus tempo, na extração do soluto da cana-de-açúcar, para várias temperaturas do meio, usando partículas de tamanho médio (1,9 mm), em leite inundado com pouca agitação.
- Figura 4.5
p. 53 Grau de extração (B/B^*) versus tamanho de partícula, para quatro níveis diferentes de tempo de contato, na extração dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar, em batelada e com leite inundado.
- Figura 4.6
p. 54 Efeito da temperatura do meio e da preparação da cana nos dois trituradores testados no grau de extração (B/B^*) na extração em batelada, em leite inundado, dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar após 20 minutos de contato.
- Figura 4.7
p. 56 Efeito da adição de cal para ajuste de pH, na extração em batelada, em leite inundado, dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar preparada no triturador Nogueira, à dois níveis de temperatura (30 e 50°C).
- Figura 4.8
p. 57 Relação de embebição (M/C) em função da temperatura, para partículas de três tamanhos diferentes, após 20 minutos de extração em batelada, em leite inundado com pouca agitação.
- Figura 4.9
p. 58 Conteúdo de fibra no megaço residual em função da temperatura para partículas de três tamanhos diferentes, após 20 minutos de tempo de contato, na extração dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar, em batelada e com leite inundado.
- Figura 4.10
p. 59 Relação de embebição (M/C) versus o valor inverso da temperatura absoluta para partículas de cana de diversos tamanhos, após 20 minutos de extração.
- Figura 4.11
p. 63 Efeito da variação do tamanho de partícula e da temperatura do meio nos valores dos parâmetros de transferência de massa na extração em batelada, em leite inundado, dos sólidos solúveis da cana, considerando uma etapa inicial (até 4 minutos) e uma etapa final (após 4 minutos).

Figura 5.1 p.70	Variação do Brix do extrato em relação ao Brix da cana de açúcar, usando no difusor uma proporção de 2 kg água/1 kg cana (valor médio) e trabalhando à temperatura ambiente, para canas trituradas em moinho Nogueira.
Figura 5.2 p.76	Perfis de concentração de sólidos solúveis (Brix) nas tinas do difusor, na fase inicial de enriquecimento das soluções, até chegar ao perfil desejado na extração contínua.
Figura 5.3 p.77	Perfis de concentração de sólidos solúveis (Brix) nas tinas do difusor, quando se aumentava a proporção de solvente para diminuir o teor de sólidos solúveis nas tinas.
Figura 5.4 p.78	Variação do perfil de concentração (Brix) nas tinas do difusor, durante a realização de duas experiências de extração contínua de cana-de-açúcar preparada no triturador Nogueira, à temperatura ambiente (24°C).
Figura 5.5 p.79	Perfil de concentrações média obtido quando se atinge o regime permanente na extração de cana de açúcar no difusor de planta piloto a temperatura ambiente.
Figura 5.6 p.80	Variação do perfil de concentração (Brix) nas tinas do difusor, durante a realização de dois ensaios consecutivos de extração contínua de cana-de-açúcar preparada no triturador Nogueira, à temperatura de 40°C.
Figura 5.7 p.81	Perfil de concentrações média obtido quando se atinge o regime contínuo na extração de cana de açúcar no difusor de planta piloto a temperatura de 40°C.
Figura 5.8 p.83 p.84	Planilha de cálculo e gráficos obtidos usando o programa Lotus 123 na simulação da extração sólido-líquido do soluto da cana-de-açúcar.
Figura 5.9 p.85	Comparação das linhas de sólidos drenados: a linha reta obtida no laboratório, e a curva obtida no difusor de planta piloto.
Figura 5.10 p.86	Valores do fator F obtidos na análise dos dados experimentais de extração contínua e de extração em batelada.
Figura 5.11 p.87	Gráficos de extração calculados pelo método de diagrama triangular usando curvas de eficiência obtidas experimentalmente.

- Figura 8.1
p.105 Cálculo gráfico do primeiro estágio ideal do extrator sólido-líquido.
- Figura 8.2
p.106 Esquema de um extrator sólido-líquido de três estágios, em contracorrente.
- Figura 8.3
p.107 O ponto delta como ponto comum de adição de misturas no diagrama triangular de extração.
- Figura 8.4
p.111 A regra da alavanca inversa aplicada ao método do diagrama triangular, como método de cálculo para determinar as proporções mássicas dos insumos e dos produtos na extração sólido-líquido.
- Figura 8.5
p.113 Imagem dos resultados do programa de simulação, obtidos na tela do monitor e na impressora gráfica.

1. INTRODUCAO:

1.1 IMPORTANCIA DA TECNOLOGIA DE MINI-USINAS DE ALCOOL.

A Humanidade tem mostrado, ao longo de sua historia, que evolui à partir das fontes de energia que ela consegue colocar ao seu dispor. Cabe então esperar que ela, em vista da decrescente disponibilidade de certos recursos energéticos e dos problemas de poluição decorrentes do uso de alguns combustíveis, se adapte ao uso de um novo leque de fontes de energia, no qual caberá às energias provenientes da biomassa um papel fundamental [Odum e Odum, 1976; Odum 1983].

Da biomassa pode-se obter vários tipos de combustíveis (ou energéticos) de caráter renovável, entre os quais o álcool etílico é um dos mais nobres, pois não é tóxico nem poluidor e tem a vantagem de ser líquido o que facilita o transporte e seu uso como substituto da gasolina, um dos energéticos provenientes do petróleo de maior consumo no país.

O Brasil é deficitário em petróleo e já foi muito susceptível às variações de oferta e preço do petróleo no mercado internacional, a situação se complica sabendo que existem previsões sobre o esgotamento das reservas de petróleo em menos de três décadas e em relação a um aumento do preço do barril de petróleo aos níveis que atingiu durante as crises de 1972 e 1983. Nessa conjuntura uma notícia favorável é que o uso dos combustíveis provenientes da biomassa se constitui na alternativa científica ao problema mundial do "efeito estufa" [Cerqueira Leite, 1988].

É evidente a necessidade da elaboração de um plano de auto-suficiência energética para o país, considerando nele tanto o curto, quanto o médio e o longo prazo. Porém para o plano ter viabilidade no médio e longo prazo, deveria considerar tanto os aspectos econômicos e técnicos (o que de fato sempre ocorre), bem como aqueles não considerados nas medidas de curto prazo ou emergenciais: os aspectos sociais e ecológicos [Wiesner, 1984; Minc, 1987; Ortega, 1987; Bacic et alli, 1988].

A produção de álcool combustível pode realizar-se de várias maneiras, sendo que afinal a escolha tecnológica ocorre em função dos interesses econômicos e políticos, unicamente. A opção por usinas grandes, de certa escala padrão (120 000 litros/dia ou seus múltiplos), não é mais do que a escolha de uma alternativa entre as diversas possibilidades existentes [Bueno, 1980]. Essa alternativa, adotada pelo Pro-Álcool, implica atualmente no desgaste intenso dos recursos humanos ("bóias-frias"), naturais (solo, flora, fauna) e financeiros (possibilidade de aplicação do dinheiro público em outros investimentos). Dessa escala de

produção resulta uma monocultura danosa, pouca possibilidade de interação com a pecuária e a destruição da diversidade ecológica e das pequenas economias nos locais onde as grandes usinas se instalam [Paschoal, 1983; San Martin, 1985].

A produção de álcool pode ser também economicamente viável em instalações de pequeno (1000 litros/dia) e médio (20 000 l/d) porte, que neste estudo denominaremos "mini-usinas".

O estudo da produção de álcool nestas escalas interessou à vários pesquisadores de diversas instituições nacionais (USP-São Carlos; Embrapa; Ital, ESALQ) e chegou-se mesmo à instalação e operação de pequenas destilarias autônomas em vários lugares do país [Folha de São Paulo, 1985]. Destaques especiais merecem algumas instalações mais integradas, como as de Jundiá [Solnik, 1984], São Carlos [Corsini, 1981] e outras mais em todo o país [La Rovere e Tolmasquim, 1984] nas quais a produção industrial de álcool não é atividade exclusiva e sim está vinculada à produção de forragens para gado bovino, biogás, biofertilizante, aproveitamento do vinhoto, uso do bagaço excedente como combustível e muitas outras atividades que podem aumentar a lucratividade do empreendimento.

Na figura 1.1 ilustramos a idéia de um sistema integrado de produção de energia e alimentos. Na figura 1.2 destacamos dentro desse sistema a mini-usina de álcool e dentro dela o difusor.

Nesse tipo de instalações mais integradas mostra-se como poderia ser conduzido um programa de auto-suficiência energética alternativo, baseado em mini-usinas de álcool: rentável, com capacitação da mão-de-obra rural, auto-suficiência de alimentos e energia, melhor aproveitamento dos recursos disponíveis ao longo do ano, uso intensivo de técnicas (agrícolas, pecuárias e florestais) mais racionais, diminuição notável da poluição no meio rural, etc. Neste caso, a tecnologia pode ser aplicada com viabilidade técnica, função social, rentabilidade econômica e sustentação ecológica [Sachs, 1986]

Hoje, graças aos esforços de inúmeros pesquisadores e ao risco enfrentado por muitos empreendedores, a mini-usina de álcool pode ser considerada viável técnica e economicamente (sendo que social e politicamente ainda é inviável), porém no início da década de 80 a situação era bastante diferente, somente existiam conjecturas. Assim, em 1979, na Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp considerou-se, por ocasião da crise do mercado internacional do petróleo e da definição do Programa Nacional do Alcool, a possibilidade de um mercado promissor para destilarias autônomas de médio porte. Estas destilarias utilizariam cana-de-açúcar como matéria-prima e teriam uma capacidade de produção de 10 000 a 40 000 litros de álcool etílico de 95°GL por dia e poderiam usar o difusor para extração dos açúcares da cana.

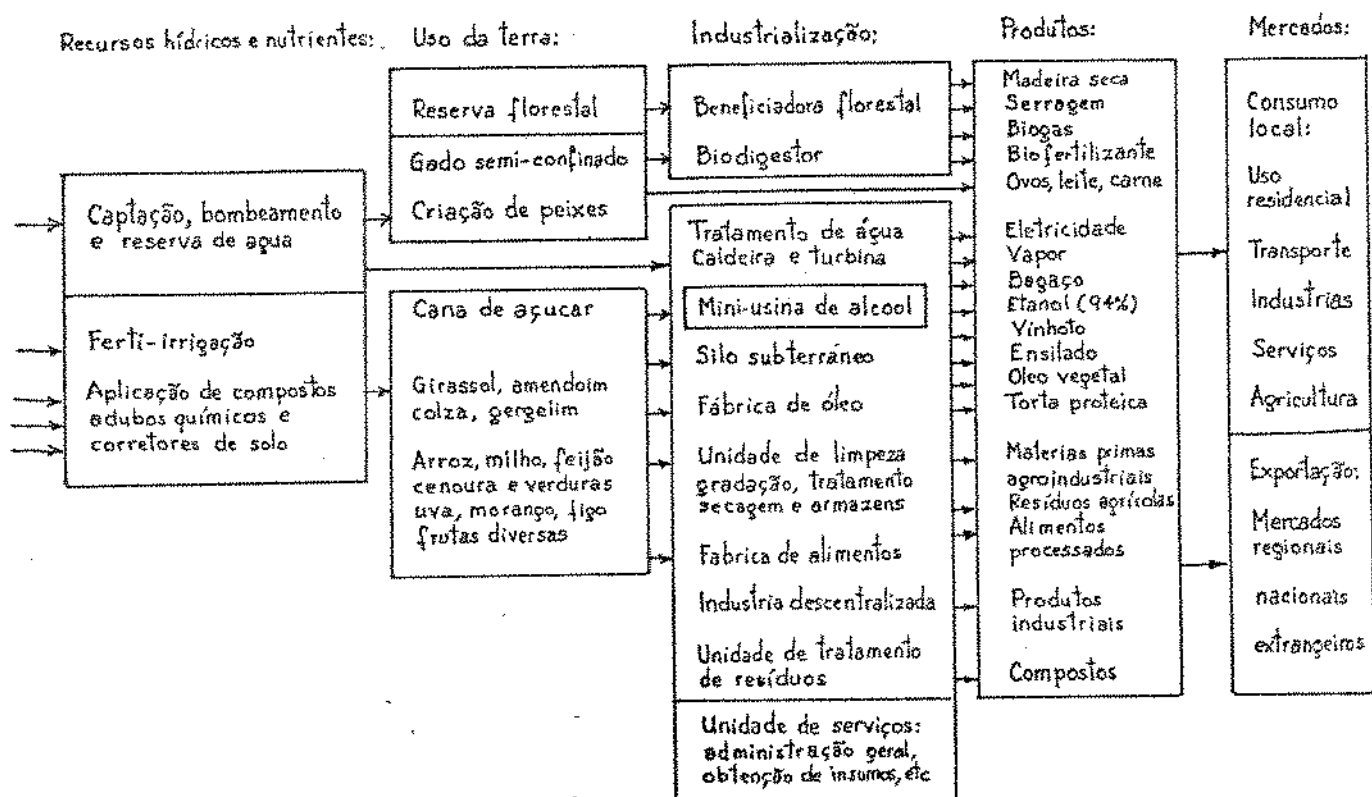


Figura 1.1

Diagrama de blocos de um Sistema Integrado de Produção de Alimentos e Energia (SIPAE).

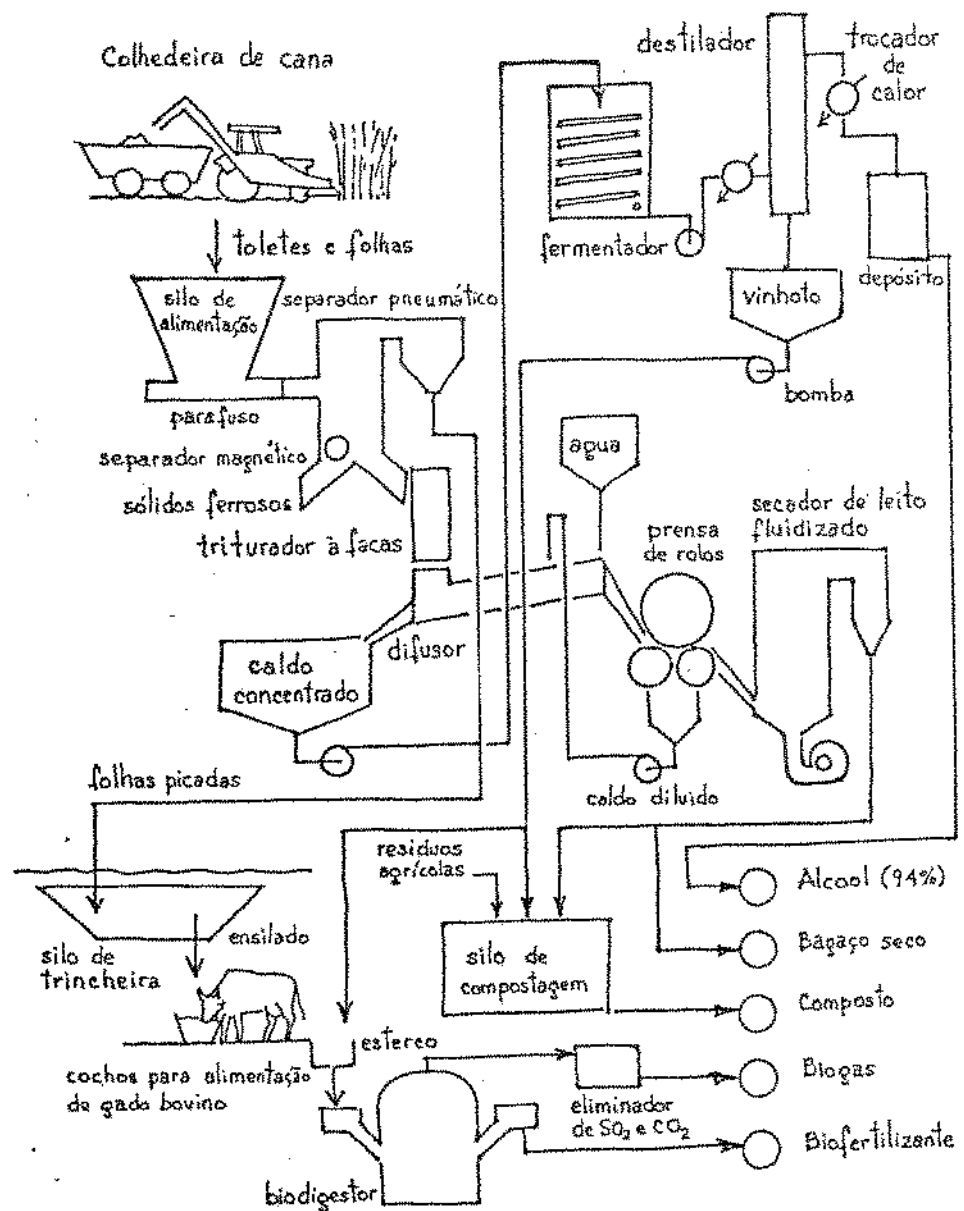


Figura 1.2

Fluxograma de uma mini-usina de álcool, com difusor, fazendo parte de um Sistema Integrado de Produção de Alimentos e Energia.

1.2 A OPÇÃO PELO DIFUSOR TIPO KENNEDY NA EXTRAÇÃO DOS SÓLIDOS SOLÚVEIS DA CANA-DE-AÇÚCAR:

Em 1980, o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) anunciou a instalação de uma destilaria autônoma de pequena capacidade (1000 litros de álcool/dia), na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em Piracicaba, Estado de São Paulo. Esta instalação não chegou a funcionar normalmente, devido a diversas deficiências, mas foi importante pois demonstrou a possibilidade técnica de produzir álcool concentrado em escala muito menor que a padrão, cujo tamanho seria adequado a sítios grandes e fazendas, um mercado considerável.

Os maiores problemas observados na instalação eram: a baixa porcentagem de extração na prensa utilizada (ela retirava de 30 a 40% dos sólidos solúveis da cana) e as perdas de álcool, por vazamentos, na coluna de destilação.

As destilarias tradicionais, na época, empregavam para a extração de sólidos solúveis a prensagem, obtendo de 88 a 92% de sólidos solúveis da cana-de-açúcar. Instalações mais modernas poderiam ser desenvolvidas empregando extratores sólido-líquido, conhecidos como difusores. Neste caso o rendimento esperado seria de 95% [Ebeling, 1978].

Para instalações de menor porte, o difusor oferecia uma alternativa atraente à prensa de rolos tradicional. Com o objetivo de verificar esta hipótese, decidiu-se estudar a extração de sólidos solúveis da cana-de-açúcar em um difusor com capacidade e características de construção adequadas à operação em mini-usinas.

Um difusor adequado para este tipo de instalação deveria ter as seguintes características:

- a. rendimento de extração médio (70%) ou alto (95%);
- b. baixo custo;
- c. construção e operação simples.

Dos diversos equipamentos de extração sólido-líquido existentes [Perry e Chilton, 1980; Vian e Ocón, 1969], o modelo Kennedy mostrou-se adequado para os testes, considerando os critérios acima.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi testar a seguinte hipótese:

"O difusor tipo Kennedy extrai, de maneira conveniente, os sólidos solúveis da cana-de-açúcar, para uma destilaria autônoma de álcool combustível de pequeno ou de médio porte".

Para responder à assertiva proposta, mostrou-se necessário:

1. Conhecer a influência das seguintes variáveis de processo:
 - a) o tamanho de partícula (método de preparação do sólido),
 - b) o tipo de contato sólido-líquido (com ou sem agitação),
 - c) a temperatura do solvente,
 - d) o pH de extração
2. Conhecer o diagrama de equilíbrio sólidos solúveis-fibra-água para o sistema à diferentes temperaturas;
3. Estudar as características de operação de um sistema de extração contínua, a nível de laboratório, considerando os fatores mencionados no item 1.
4. Projetar o equipamento de planta piloto;
5. Construir o equipamento;
6. Instalar o equipamento;
7. Ajustar mecanicamente o equipamento;
8. Testar o equipamento na extração de sólidos solúveis da cana-de-açúcar determinando a influência das variáveis mencionadas no item 1, além da capacidade real de extração do difusor (eficiência de estágio);
9. Comparar o presente desenvolvimento com outros projetos de difusores;
10. Acompanhar o desenvolvimento da tecnologia de mini-usinas de álcool combustível e outras instalações correlatas do complexo agro-pecuário-industrial que inclui a mini-usina.

1.3 JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA:

Em termos meramente técnicos a pesquisa se justificava, pois:

1. Verificamos a inexistência de referências bibliográficas sobre curvas de equilíbrio para cana-de-açúcar a diversas temperaturas, resultando na ausência tanto de gráficos para o cálculo do número de estágios teóricos, como de referências sobre a curva de eficiência de estágio.

2. Não havia informação fidedigna sobre o processo de extração de sólidos solúveis da cana em batelada e sobre os coeficientes de transferência de massa na lixiviação da cana.

3. Pouco se sabia sobre a influência da preparação da cana, da temperatura, da adição de cal e da forma de contato na taxa de extração de sólidos solúveis.

Considerou-se também importante estudar a opção de difusor tipo Kennedy, para conhecer os princípios de funcionamento de um extrator sólido-líquido contínuo, os problemas de operação, e dispor dos parâmetros para estudar outras difusões ou lavagens que venham a ser propostas para estudo.

O difusor pesquisado também poderia ser usado em outras extrações ou lixiviações: de taninos de cortiças ou madeiras, de edulcorantes de estévia, de chá, de pigmentos de tecidos vegetais, de materias primas farmacêuticas de tecidos vegetais e animais, de alguns óleos comestíveis, de sólidos solúveis de sorgo sacarino e beterraba, de sólidos solúveis de uva, maçã e outras frutas, separação de amidos, etc. Como pode observar-se o campo potencial de aplicações é bastante amplo.

2. REVISAO BIBLIOGRAFICA:

2.1 ANTECEDENTES:

A extração do açúcar (ou, de maneira mais geral, dos sólidos solúveis) da cana-de-açúcar pode ser realizada por meio de duas técnicas: prensagem (que emprega as moendas ou ternos de rolos) ou por extração por solvente (que usa os equipamentos designados como "difusores").

No Brasil, a técnica empregada comumente é a prensagem, porém não como uma prensagem simples e sim como uma combinação de processos: várias etapas de prensagem com lavagens intermediárias. Estas lavagens, por serem de curta duração e ter como função principal a reidratação e a recuperação do volume das partículas de cana para facilitar a prensagem, não chegam a ser chamadas de difusões.

Como neste estudo nos interessa basicamente a técnica de "difusão" na extração de açúcar de cana, nos limitaremos somente aos antecedentes conhecidos deste método.

A técnica de extração de açúcar de cana por difusão, no início de sua divulgação comercial, foi aplicada com bons resultados econômicos em vários lugares do mundo (Havai, Ilha Maurício, Nicarágua, Egito, Filipinas). Seu grande impacto foi, no entanto, na África do Sul, onde os primeiros difusores foram instalados em 1966 e 1967 [Graham et alii, 1968]. Os difusores substituíram as moendas em alguns engenhos açucareiros com sucesso tão grande que a partir dessa data, naquele país, todas as ampliações ou novas instalações foram feitas empregando-se estes equipamentos [Ebeling, 1978a].

Na mesma época, houve no Brasil uma iniciativa similar: o Grupo Dedini, entre 1965 e 1968, tentou promover o extrator BMA ("Braunscheigische Maschinenbau Anstalt") para produção de açúcar. O empreendimento não foi bem sucedido, talvez porque os difusores, ainda não estivessem suficientemente desenvolvidos e integrados aos equipamentos auxiliares [Ebeling, 1978b; Baccaro, 1980].

Naquela época, cogitava-se que o maior rendimento em extração poderia não resultar numa maior produção de açúcar por tonelada de cana, devido a uma possível inversão da sacarose durante o processo de extração sólido-líquido [Fitzgerald et alii, 1980]. Havia ainda um desconhecimento da demanda energética, a qual poderia não compensar mudanças no sistema de extração com moendas [Ebeling, 1978a; Upadhaiya, 1971].

No decorrer dos anos o sucesso sul-africano se consolidou, invalidando o argumento de maior inversão de sacarose, mostrando

que a energia mecânica necessária era menor que no caso das moendas [Wu, 1968] e comprovando que os custos de instalação e manutenção poderiam ser compensadoramente menores [Upadhaiya, 1971], atingindo-se rendimentos superiores a 97% em algumas instalações [Delavier, sem data; Freund, 1968]. Foi assim, já sabendo da viabilidade dos difusores, que no Brasil se considerou novamente a possibilidade da aplicação desta técnica, no programa de expansão da indústria de álcool combustível, no início da implantação do Programa Nacional do Alcool.

A partir dessa nova visão sobre os difusores, nos anos recentes, vários grupos industriais demonstraram interesse na reimplantação de difusores para cana-de-açúcar no Brasil.

O pioneiro foi o grupo Deon Hulet Consultores que construiu difusores verticais [Baccaro, 1980]. São extratores de aço inoxidável, com um parafuso para movimentação dos sólidos, e que apresentaram problemas mecânicos (erosão).

A firma De Smet do Brasil, com tecnologia belga, construiu o primeiro difusor comercial de grande escala que foi implantado em Maracaju, Mato Grosso do Sul, em 1982 [Adam, 1982].

Várias indústrias realizaram experiências de adaptação de tecnologia estrangeira (Metalúrgica Barbosa, Metalúrgica Jaraguá, Confab, Dedini, Krupp) e algumas outras procuraram desenvolver tecnologia própria (Zanini, Maciero, Conger, IPT, Fazenda Ermida) [BMA, 1979; Baccaro, 1980; O Estado de São Paulo, 1981, Oliveira, 1983].

É muito provável que outros empreendimentos tenham ocorrido nos Estados do Sul do Brasil, porém não conseguimos encontrar referências escritas sobre eles.

2.2 INFORMAÇÃO TÉCNICA OBTIDA NA ÉPOCA DE DEFINIÇÃO DA PESQUISA:

A pesquisa sobre difusão da cana teve seu auge nos anos sessenta, sendo que, nas reuniões da Associação Internacional de Técnicos de Cana de Açúcar (ISSCT) de 1968 e 1974, o tema ocupou um lugar de destaque em relação ao número de estudos apresentados.

Como não havia disponibilidade de difusores contínuos em escala de laboratório, a maioria das pesquisas básicas sobre difusão foram realizadas em equipamentos de batelada. Alguns resultados e conclusões mostraram-se conflitantes entre si. Não havia uma compreensão clara dos mecanismos de transferência de massa.

Buchanan e Julienne [1970] estudaram a velocidade de extração em leitos de percolação e em leitos totalmente submersos. Eles indicaram a existência de "zonas mortas" no leito de percolação onde a transferência de massa era baixa apesar de uma intensa taxa

de recirculação. Este comportamento talvez se explique devido à formação de camadas de bagacilho que fecham os poros do leito quando o caldo é percolado e recirculado [Fitzgerald et alli, 1980].

Buchanan e Julienne [1970] estudaram também a influência da temperatura na velocidade de extração em batelada. Os resultados mostram um comportamento exponencial em relação ao tempo de contato, mesmo a temperaturas de 90°C. Outro pesquisador [Brüniche-Olsen, 1969] cita a existência de uma temperatura de desnaturação ("killing"), à semelhança do que acontece na beterraba, ao redor de 70°C, o que supostamente daria lugar a um fenômeno que torna as células permeáveis. Estes mecanismos, no caso da cana de açúcar, precisavam ser bem caracterizados experimentalmente para o dimensionamento eficiente do extrator [Delavier, 1974; Bjerager, 1968].

Na opinião de especialistas internacionais, as canas brasileiras apresentam uma estrutura fibrosa "mais rígida" e a utilização das mesmas em extratores exigiria vários testes e adaptações envolvendo diversos estudos sobre: a ação dos desfibradores na cana, os mecanismos de percolação durante a extração e a operação de compressão final [Adam, 1981].

O efeito da agressividade do meio (pH e sais) na extração foi estudado por Bjerager [1968] e Brüniche-Olsen [1969], os quais estabeleceram que, dentro de limites bastante amplos de trabalho, não se percebe intensificação de extrações secundárias (sustâncias que não são açúcares). A influência destas extrações secundárias na cinética da extração da sacarose ainda não tinha sido motivo de estudo e também se desconhecia o efeito destas extrações secundárias na fermentação alcoólica, fato que se justificava, pois na época todas as pesquisas se restringiam à obtenção de açúcar branco.

Outra possibilidade interessante era a de se reutilizar parte do vinhoto, depois de ser neutralizado, como solvente no difusor, e com isto diminuir os custos de manuseio do mesmo e seu efeito poluente. O reciclo da vinhaça até uma concentração de 8% em sólidos solúveis era, na época, uma técnica conhecida nas grandes destilarias, apenas sua aplicação era limitada devido ao efeito corrosivo da vinhaça sobre os materiais de construção [Adam, 1981].

Os principais equipamentos industriais disponíveis no mercado para a difusão de cana-de-açúcar eram adaptações dos equipamentos empregados na extração de óleos vegetais com solvente e na extração de açúcar de beterraba na Europa.

Os modelos mais desenvolvidos e com maior número de unidades em uso eram do tipo percolação em leito móvel [De Smet, 1981; BMA, 1979], nos quais a baixa eficiência de contato precisava ser compensada por um maior tempo de residência [Barreto de Menezes,

1980]. Isto se traduzia na prática em construções enormes (até 18 estágios e mais de 40 m de comprimento) e, portanto, onerosas. O sistema necessita de um complexo esquema de irrigação com dezenas de bombas para recirculação do líquido [Allison, 1977]. A principal vantagem é a estabilidade de operação que evita a queda do rendimento de extração durante a safra, a mais notável característica dos difusores.

Outros extratores por irrigação e percolação são do tipo rotocélula, nos quais tanques perfurados contendo a cana giram horizontalmente em torno de um eixo, desde o ponto de recebimento da cana até a descarga. Estes equipamentos são de construção e manutenção mais difícil e pouco flexíveis quanto à produção [Payne, 1968]. Como os anteriores, eles também sofrem com problemas de entupimento do leito e formação de canais preferenciais [Fitzgerald et alli, 1980].

Os equipamentos do tipo inundado mais conhecidos constam de canaletas inclinadas nas quais o líquido escoar por gravidade e o sólido é movimentado por parafusos (tipo DDS) ou células justapostas e em desnível, pelas quais a cana é transportada por ancinhos e o líquido é bombeado (tipo Van Hengel) [Fitzgerald et alli, 1980; Brüniche-Olsen, 1969].

Adaptações do difusor para poder processar outras matérias-primas são mais simples do que adaptações de moendas. O difusor é o equipamento natural para a beterraba açucareira despertando interesse em algumas áreas do Brasil [Filgueiras, 1981; Raupp, 1981].

Também é importante pesquisar a aplicação do difusor na extração mista, tanto de açúcar da cana quanto de sorgo sacarino, pois existe uma tentativa bem organizada para complementar o tempo de operação das usinas com esta gramínea [Gomes da Silva, 1976; Garcia, 1979; Corsini, 1981]. O sorgo, sendo menos "silicoso", apresenta problemas na prensagem caso não seja processado imediatamente após o corte; portanto o difusor provavelmente se adaptaria melhor para seu processamento.

Uma análise técnica dos diversos tipos de difusores [Foster, 1968] e alguns estudos preliminares realizados na Faculdade de Engenharia de Alimentos, fizeram-nos optar por difusores do tipo inundado como os mais adequados para uma produção pequena, a baixo custo [Ortega et alli, 1979; Albertini, 1980; Biondi, 1981]. Nesse tipo de extratores existe a possibilidade de induzir certo grau de agitação ao leito e usar partículas mais finas, o que garante alta eficiência de contato com mínimos riscos de entupimento, e a possibilidade de desenvolver um equipamento mais compacto.

Assim sendo, o extrator mais adequado poderia ser um híbrido entre o DDS e o Van Hengel, que assimilasse as vantagens de cada um, isto é, o movimento do líquido seria por gravidade, mas com

células para facilitar o controle e promover melhor agitação. Em essência ele se identificaria com o extrator Kennedy para óleos vegetais e que ainda não tinha sido empregado na extração de cana-de-açúcar. Esse extrator consta de um corpo inclinado, dividido em secções ou canaletas transversais, nas quais o líquido escoia em cascata; com o sólido sendo movimentado por pás que giram em eixos horizontais [Cofield, 1951; Lerman, 1948].

No final da pesquisa foi necessário complementar a revisão da literatura técnica para incorporar novos conhecimentos sobre o tema e aprofundar o nível de informação em algumas questões, especialmente sobre modelos de interpretação de fenômeno de extração em batelada e em regime contínuo.

2.3 MODELOS DE ANÁLISE DA EXTRAÇÃO EM BATELADA:

Os vários modelos de interpretação do fenômeno de extração por solvente dos solutos de cana-de-açúcar podem ser agrupados em duas categorias diferentes, conforme o tipo de análise que realizam.

a) A primeira categoria inclui os modelos que empregam o coeficiente de película (a película pode estar do lado de fora da partícula ou no interior da mesma). São exemplos os modelos de Coulson e Richardson e de Brüniche-Olsen. Não há neles uma referência explícita à forma das partículas. Sua aplicação fica restrita a condições de processo similares às empregadas na determinação dos coeficientes.

b) Na segunda categoria encontram-se os modelos que consideram o processo difusional e que tratam cada partícula individualmente, podendo desprezar ou considerar a resistência convectiva à transferência de massa que ocorre na superfície da partícula. Nesta categoria são exemplos os modelos de Crank, Newman, Soddu e Gioia.

Estes modelos consideram, em série ou em paralelo, as seguintes etapas: (1) o solvente penetra no interior do sólido; (2) as substâncias solúveis se dissolvem no solvente; (3) a solução solúveis-solvente difunde-se para a superfície da partícula sólida, e (4) esta solução é transferida por convecção para o seio da solução.

2.3.1 EQUAÇÕES QUE CONSIDERAM UM COEFICIENTE DE PELÍCULA:

2.3.1.1.a Equação de Coulson e Richardson:

Coulson e Richardson [1968], e outros autores de livros texto como Charm [1976], Brennan [1976], Heldman e Singh [1981], etc., ao propor as equações para o cálculo de extratores fazem uso de um coeficiente de transferência de massa de película na fase líquida. Eles consideram que a velocidade com que ocorre o transporte de soluto no residuo poroso depende da forma dos poros através dos quais as moléculas tem que movimentar-se.

Eles consideram que é possível obter uma indicação aproximada da taxa de transferência do soluto das partículas para o seio da solução, a partir da idéia de que uma camada fina de líquido (em volta das partículas) é responsável pela resistência à transferência de massa no processo e, nesse caso, pode-se escrever a equação:

$$\frac{dM}{dt} = k A (Y_i - Y) \quad (2.1)$$

Onde:

- M = massa de soluto transferida (kg soluto)
- t = tempo de contato (s)
- k = coeficiente de transferência na película líquida (kg/s)
- A = área da interface sólido-líquido (m²)
- Y = concentração do soluto no seio da solução (kg soluto/m³)
- Y_i = concentração da solução na interface sólido-líquido em contato com a partícula, nas condições de temperatura e pressão do sistema (kg soluto/m³).

No caso a concentração na interfase sólido-líquido seria aquela correspondente a saturação, Y_s, que ocorreria na dissolução do sólido solúvel no líquido disponível na interfase e seria constante (Y_s).

Para o processo em batelada, no qual o volume total da solução (V) é constante, então:

$$dM = V dY \quad (2.2)$$

Por tanto:

$$\frac{dY}{dt} = k' \cdot \frac{A}{V} (Y_s - Y) \quad (2.3)$$

O tempo t necessário para que a concentração da solução se eleve do seu valor inicial Y_0 até Y pode ser determinado através da integração da expressão (2.3), na suposição que $[k' \cdot (A/V)]$ e Y_s permaneçam constantes.

Obtem-se:

$$\ln \frac{Y_s - Y}{Y_s - Y_0} = \left[k' \frac{A}{V} \right] t \quad (2.4)$$

Se no início do processo usa-se solvente puro ($Y_0 = 0$), e destacando-se a concentração média da solução:

$$Y = Y_s \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{k' \cdot A}{V} t \right] \right\} \quad (2.5)$$

Esta última equação mostra que no limite $t \rightarrow \infty$ a concentração da solução extrato tenderá a aproximar-se à concentração da solução saturada. Observamos que esta equação é válida para processos de dissolução simples. No caso de extração de solutos dissolvidos em matriz sólida, sua aplicação é improvável, visto que níveis de concentração de soluto são sempre muito inferiores as quantidades necessárias para saturação.

Finalmente, Coulson e Richardson [1968] advertem que, na maioria dos casos a área interfacial tenderá a aumentar seu valor durante a extração, existindo ainda a possibilidade de uma desintegração física das partículas durante o processo. Porém, mesmo que esta destruição produza um incremento na área interfacial, a taxa de extração terá, muito provavelmente, uma redução em seu valor pois haverá um maior impedimento para a movimentação da solução líquida e um aumento efetivo da espessura da camada de líquido que envolve as partículas.

2.3.1.1.b. Equação para o sólido poroso com células abertas:

Considerando que na extração de cana-de-açúcar triturada o solvente penetra rapidamente a matriz sólida e solubiliza com facilidade o soluto das células abertas. Supondo-se que a taxa de transferência do soluto é regulada pelo transporte na película de líquido que rodeia a partícula sólida, nesse caso o caldo dentro da estrutura sólida será homogêneo e seu nível de concentração decrescerá proporcionalmente a transferência de soluto para o exterior.

Assim podemos supor que a concentração na interface será a mesma da solução dentro do sólido poroso e variará durante o processo de extração, em uma forma tal que é possível estimar seu valor.

Considerando as concentrações em kg de soluto/m³ de solução:

X₀ = concentração inicial do caldo no sólido poroso.
Y₀ = concentração inicial no líquido usado como solvente.
X_f = concentração final do caldo no sólido poroso.
Y_f = concentração final no líquido usado como solvente.
X = concentração do caldo no sólido poroso em processo.
Y = concentração na solução ou extrato em processo.

Considerando os volumes em m³ de solução:

E_s = volume da fase líquida externa.
R_s = volume da fase líquida interna.

O balanço de massa global seria:

$$E_s (Y_f - Y_0) = R_s (X_f - X_0) \quad (2.6)$$

Um balanço de massa no instante t de contato no processo em batelada:

$$E_s (Y - Y_0) = R_s (X - X_0) \quad (2.7)$$

$$X = \frac{E_s}{R_s} Y_0 + X_0 - \frac{E_s}{R_s} Y \quad (2.8)$$

$$\frac{dX}{dt} = - \frac{E_s}{R_s} \frac{dY}{dt} \quad (2.9)$$

$$- R_s \frac{dX}{dt} = E_s \frac{dY}{dt} \quad (2.10)$$

A quantidade de soluto que sai das células abertas do sólido é a mesma quantidade que enriquece a solução. E é a mesma que atravessa a película de resistência convectiva:

$$E_s \frac{dY}{dt} = k A_s (Y_i - Y) \quad (2.11)$$

Se considerarmos que a concentração da solução ocluída varia com o tempo de contato sólido-solvente, e que a rápida dissolução do soluto faz com que ela seja uniforme no interior da partícula (reator de mistura ideal), podemos usar este valor como uma aproximação para a concentração na interface. Como os sólidos solúveis já estão dissolvidos no mesmo solvente da fase líquida, é provável que o coeficiente de partição seja igual à unidade, isto é: K_p = 1 (X/Y) no tempo e no local considerados] = 1.

Assim sendo:

$$Y_i = X \quad (2.12)$$

Substituindo (2.8) em (2.12):

$$Y_i = \frac{E_s}{R_s} Y_o + X_o - \frac{E_s}{R_s} Y \quad (2.13)$$

Substituindo (2.13) em (2.11):

$$E_s \frac{dY}{dt} = k A_s \left[\left(\frac{E_s}{R_s} Y_o + X_o \right) - \left(\frac{E_s}{R_s} + 1 \right) Y \right] \quad (2.14)$$

Então:

$$\frac{dY}{(aY + b)} = \frac{k A_s}{E_s} dt \quad (2.15)$$

Onde:

$$a = - \left(\frac{E_s}{R_s} + 1 \right) \quad (2.16)$$

$$b = \frac{E_s}{R_s} Y_o + X_o \quad (2.17)$$

Integrando do início até o tempo t de processo, temos:

$$\frac{1}{a} \ln(aY + b) \Big|_{Y_o}^Y = \frac{k A_s}{E_s} t \Big|_0^t \quad (2.18)$$

$$\ln \frac{aY + b}{aY_o + b} = \frac{a k A_s}{E_s} t \quad (2.19)$$

Como o solvente no início está puro, $Y_o=0$:

$$\frac{aY + b}{b} = \exp \left[\frac{a k A_s}{E_s} t \right] \quad (2.20)$$

$$\frac{a}{b} Y + 1 = \exp \left[\frac{a k A_s}{E_s} t \right] \quad (2.21)$$

$$\frac{Y}{-(b/a)} = 1 - \exp \left[-\frac{a k A_s}{E_s} t \right] \quad (2.22)$$

$$-\frac{b}{a} = \frac{\frac{E_s}{R_s} Y_o + X_o}{\frac{E_s}{R_s} + 1} = \frac{E_s Y_o + R_s X_o}{E_s + R_s} = \frac{\text{kg soluto total}}{\text{m}^3 \text{ solução total}} \quad (2.23)$$

Por tanto:

$$-(b/a) = Y^* = \text{concentração de equilíbrio prático}$$

Y^* seria a concentração da solução que seria obtida quando todo o soluto presente nas células abertas do sólido se dissolve-se de maneira uniforme no líquido disponível.

$$\frac{Y}{Y^*} = 1 - \exp \left[-\left(\frac{E_s}{R_s} + 1 \right) \frac{A_s}{E_s} k t \right] \quad (2.24)$$

A equação (2.24), tal como a equação (2.5), expressa que a variação da concentração no extrato será exponencial e tenderá a alcançar um determinado valor, neste caso Y^* .

Colocando em termos do soluto residual $[1 - (Y/Y^*)]$:

$$\ln \left[1 - \frac{Y}{Y^*} \right] = \left[-\left(\frac{R_s}{E_s} + 1 \right) \frac{A_s}{R_s} k \right] t \quad (2.25)$$

$$\ln \left[1 - \frac{Y}{Y^*} \right] = k'' t \quad (2.26)$$

O gráfico de $\ln [1 - (Y/Y^*)]$ versus t deverá resultar em uma linha reta de cuja inclinação poder-se-á obter o valor de k'' e, posteriormente, a partir deste valor, o valor de $(k \cdot A_s)$.

A relação (E_s/R_s) pode ser determinada graficamente ou com ajuda da equação (2.6).

A análise realizada se restringe ao caso da extração de células abertas, em partículas de tamanho pequeno. As células fechadas são consideradas aqui como material inerte, seu soluto praticamente não está disponível nesta etapa de extração.

2.3.1.2 Equação de Brüniche-Olsen:

Brüniche-Olsen [1969], depois de fazer a ressalva de que somente haverá extração se as paredes das células do parênquima forem destruídas por métodos mecânicos, térmicos ou químicos, diz que a velocidade de escoamento das moléculas é diretamente proporcional ao gradiente de concentração existente e que o processo ocorre de uma maneira análoga a difusão convectiva (modelo de Coulson e Richardson, visto acima). Porém com uma diferença básica, em vez de se ter uma difusão livre tem-se uma difusão inibida, pela presença de uma rede de paredes celulares (abertas) que limitam o escoamento do soluto rumo à massa externa de solvente.

Brüniche-Olsen [1969] considera que a equação (2.1) pode ser usada para descrever o decrescimento de concentração no interior da partícula. Colocando algumas modificações na equação, consideradas por ele pertinentes, obteve a expressão seguinte:

$$\frac{dX}{dt} = k' (X - X_0) \quad (2.27)$$

Nesta expressão X é a concentração média na partícula (que é decrescente), X_0 é a concentração constante da solução que envolve a partícula; t é o tempo de contato e k' é a constante denominada coeficiente de extração que dependerá da forma e tamanho da partícula sob extração, da substância extraída, da temperatura e do tipo de tecido celular existente na partícula. Observa-se que o autor considerou o coeficiente de partição igual a unidade.

A equação (2.27) diz simplesmente que a velocidade de extração é proporcional à diferença entre a concentração média na partícula e a concentração na solução e, após integração, pode ser representada como:

$$\ln \frac{X - X_0}{X_1 - X_0} = k' (t - t_0) \quad (2.28)$$

Onde X_1 é a concentração média no material sólido no instante inicial do contato (t_0).

k' pode ser determinado correlacionando-se valores experimentais de X e t , e empregando a equação (2.28); a inclinação da reta obtida no gráfico monologarítmico dará o valor de k' .

Os resultados do trabalho de Brüniche-Olsen [1969], que permitiram a determinação do coeficiente de extração (k') na extração de cana-de-açúcar, são mostrados na figura 2.1.

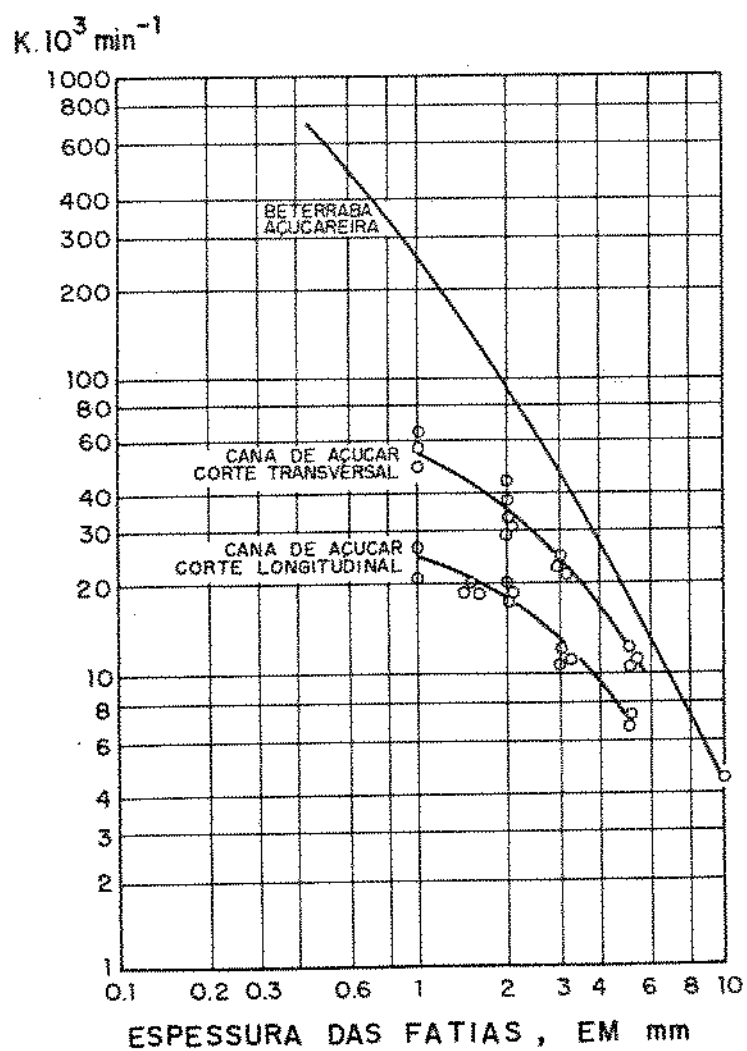


Figura 2.1 Coeficiente de extração para fatias planas e finas de cana de açúcar e beterraba açucareira. [Brüniche-Olsen, 1969].

2.3.2 EQUAÇÕES DE PROCESSO DIFUSIONAL:

2.3.2.1 Equação de Crank:

Difusão em esferas finitas imersas em uma fase líquida finita, muito bem agitada.

As partículas do parênquima de cana-de-açúcar são de forma bastante irregular, porém achamos que para fins de estudo, a forma geométrica que melhor as representaria seria a forma esférica. Considerando o caso de difusão do interior para o exterior quando uma esfera porosa é imersa em uma fase líquida contínua, com agitação perfeita, sendo a fase líquida inicialmente isenta de solutos, temos que a variação do perfil da concentração de soluto no interior da partícula em função do tempo, na extração em batelada, é descrita pela Segunda Lei de Fick [Crank, 1975]:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_e \left[\frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial X}{\partial r} \right] \quad (2.29)$$

Para as condições iniciais:

$$t = 0 \quad 0 < r < R \quad X = X_0 \quad (2.30)$$

Para as condições de contorno :

$$t > 0 \quad r = 0 \quad \partial X / \partial r = 0 \quad (2.31)$$

$$t > 0 \quad r = R \quad - D_e \frac{\partial X}{\partial r} = \frac{V_e}{A_s} \frac{\partial Y}{\partial t} \quad (2.32)$$

V_e = volume do extrato líquido.

A equação (2.29) usa o termo D_e que corresponde a difusividade efetiva do soluto na solução ocluída no sólido. A difusividade efetiva é diferente da difusividade comum (D), pois leva em conta a porosidade (ϵ), um fator de forma denominado tortuosidade (τ) e as concentrações do soluto no líquido ocluído na matriz sólida (X).

$$D_e = \frac{D \cdot \epsilon}{\tau}$$

A equação (2.30) leva em consideração a existência de uma concentração uniforme de soluto dentro da partícula no instante em que se tem início a extração.

A equação (2.31) reflete o fato de o perfil de concentração no ponto central da partícula ser simétrico em relação ao centro.

A equação (2.32) diz que a taxa com que o soluto difunde dentro da partícula é igual à taxa com que ele deixa a superfície da partícula e é igual à taxa de enriquecimento da solução externa de concentração Y .

Assumindo que, por efeito de uma agitação intensa da fase líquida, a concentração do soluto na solução que está dentro do sólido, na última camada superficial do sólido, seja igual a concentração que existe na solução externa, temos que a solução do sistema de equações (2.29 a 2.32) é [Crank, 1975]:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6\alpha(\alpha+1)}{[9(\alpha+1) + (\alpha q_n)^2]} \exp \left[- q_n^2 \frac{D_e t}{R^2} \right] \quad (2.33)$$

Onde M_t é a quantidade total de soluto que sai da esfera depois de um certo tempo t , expressa como uma fração da quantidade de soluto que deixou a partícula esférica após tempo infinito (M_∞).

Nesta equação:

q_n são as raízes positivas, não nulas e sucessivas da função:

$$\tan q_n = \frac{3 q_n}{3 + \alpha q_n^2} \quad (2.34)$$

α = fator de separação

$$\alpha = \frac{V_L}{V_R - K_p} = \frac{1}{K_p} = \frac{\text{kg de soluto no extrato líquido}}{\text{kg de soluto na solução aderida ao resíduo}} \quad (2.35)$$

V_L = volume do líquido no sólido residual

K_p = coeficiente de partição

O coeficiente de partição é determinado experimentalmente, considerando um certo tempo de contato, até que as concentrações na fase sólida e na fase líquida entrem em equilíbrio:

Assim, no tempo considerado:

$$K_p = \frac{X_{t \rightarrow \infty}}{Y_{t \rightarrow \infty}} = \left[\frac{\text{kg soluto}}{\text{m}^3 \text{ líquido no residuo}} \right] \left[\frac{\text{m}^3 \text{ extrato líquido}}{\text{kg de soluto}} \right] \quad (2.36)$$

A relação (M_t/M_o) pode ser expressa também como uma relação entre as diferenças de concentração no líquido:

$$\frac{M_t}{M_o} = \frac{Y - Y_o}{Y_o - Y_o} \quad (2.37)$$

Desde que, o volume de solução possa ser considerado constante no processo.

Se a concentração inicial de soluto no solvente for nula:

$$\frac{Y - (0)}{Y_o - (0)} = \frac{Y}{Y_o} \quad (2.38)$$

Y/Y_o é o valor do grau de extração que se determina experimentalmente através da medida da concentração de soluto na solução de lavagem e do cálculo da concentração de equilíbrio total da solução.

Substituindo-se a equação (2.38) na equação (2.33), obtém-se:

$$\frac{Y}{Y_o} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6\alpha(\alpha+1)}{[9(\alpha+1) + (\alpha q_n)^2]} \exp \left[-q_n^2 \frac{De \cdot t}{R^2} \right] \quad (2.39)$$

A difusividade efetiva pode ser obtida ajustando-se a equação (2.39) aos dados experimentais. A técnica numérica consiste em um processo iterativo onde assume-se um valor para De , calcula-se o perfil de concentrações no tempo e compara-se com os valores experimentais. Uma nova interação é realizada até que seja minimizada a diferença entre o perfil de concentrações calculado e o perfil de concentrações experimental.

O procedimento acima citado pode ser auxiliado por métodos computacionais, como o desenvolvido por Cabral [1987].

As simplificações realizadas para a obtenção da equação (2.33) limitam seu emprego para situações onde o número de Biot $[Bi = k \cdot L_c / De]$ seja infinito [Schwartzberg e Chao, 1982]. Todavia, numericamente a solução pode ser empregada para $Bi > 40$, um valor suficientemente alto, que garante que o desvio da solução matemática proposta por Crank seja pequeno.

Os dados experimentais de Brüniche-Olsen [1969] foram aproveitados por Schwarzberg e Chao [1982], usando o modelo descrito por Crank (equação 2.33), para obter os valores da difusividade efetiva (De) de sacarose em cana-de-açúcar para dois tipos de corte, variando a espessura de partícula e a temperatura de extração. Os resultados são mostrados na figura 2.2.

Os resultados indicam que o valor da difusividade efetiva aumenta com o aumento da espessura da fatia de cana até um certo nível, a partir do qual a difusividade se mantém constante. Segundo Cussler [1984] a variação da difusividade efetiva pode ser atribuída ao efeito favorável da condução de sacarose em feixes de vasos capilares, que na cana seriam responsáveis pela movimentação de seiva. Nas partículas muito pequenas esses vasos estariam destruídos e não poderiam colaborar no escoamento de solutos dentro da partícula; assim que se aumenta o tamanho da partícula a contribuição desses feixos na saída de soluto da partícula aumentaria até um certo valor a partir do qual seu efeito não seria mais notado e a difusividade passaria a ter um valor constante.

2.3.2.2 Equação de Soddu e Gioia:

Difusão em esferas imersas em fase líquida finita, com fenômeno de sorção.

Soddu e Gioia [1979], estudaram a extração em batelada de beterraba açucareira objetivando a diminuição das perdas de açúcar durante a lavagem das beterrabas, visto que a carga de materiais orgânicos consumidores de oxigênio nas águas residuárias da indústria de açúcar holandesa, constituía-se num grave problema ambiental.

Estes pesquisadores detectaram existência de uma segunda fase no processo de extração na qual o grau de extração é menor que o previsto pela equação (2.33).

Soddu e Gioia, tomando como base um trabalho de Chandrasekaran [1976], assumiram que a alteração no grau de extração era devida a um fenômeno de sorção, no qual o equilíbrio entre soluções, no interior e fora das células intactas, provocava uma diminuição do gradiente de extração efetivo.

Para descrever este fenômeno, propuseram a seguinte equação:

$$\frac{\partial X_m}{\partial t} = De' \left[\frac{\partial^2 X_m}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial X_m}{\partial r} \right] \quad (2.40)$$

A equação (2.40) é igual à equação (2.30) apenas emprega uma definição diferente de concentração e uma difusividade efetiva

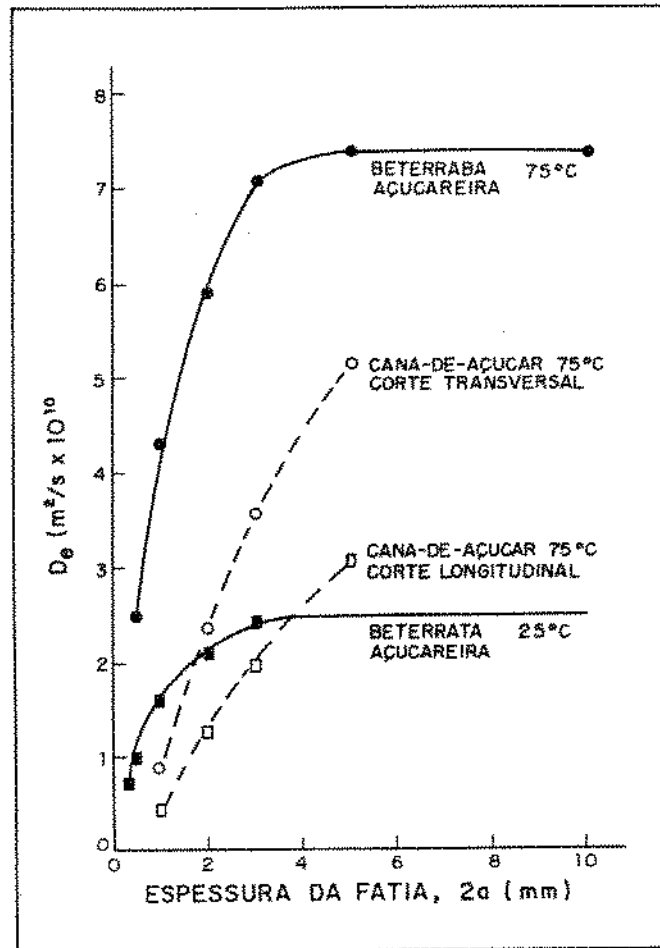


Figura 2.2

Curvas de difusividade efetiva no sólido (D_e) versus espessura da fatia de sólido, na extração de solutos de cana, com água a 75°C, em batelada. [Schwarzberg e Chao, 1982].

corrigida cujo valor varia com a concentração ao longo do processo, conforme a equação:

$$De' = \frac{(De)/e}{1 + \frac{\beta [(1-e)/e] X_{i \max}}{(1 + \beta X_m)^2}} \quad (2.41)$$

Nesta equação o termo que contém β incorpora o efeito de sorção.

As equações (2.40) e (2.41) foram resolvidas pelo método numérico das diferenças finitas e, de acordo com estes pesquisadores, os resultados permitiram descrever o fenômeno de extração em "células vivas" de uma maneira satisfatória. As condições de contorno empregadas são descritas na literatura [Soddu e Gioia, 1979].

Consideram eles que as células de parênquima não afetadas por golpes recebidos no processo de colheita e transporte ou por processos de desintegração mecânica (em trituradores), estão vivas e mantêm um processo regulado de intercâmbio de solutos com o meio externo.

No caso de células destruídas ou abertas, poderia considerar-se nulo o termo de correção, isto é $\beta=0$, e empregar-se o método desenvolvido por Crank, considerando que na lavagem a agitação é intensa, o volume de solvente empregado em relação ao sólido é grande e portanto a concentração de soluto que se atinge no líquido é muito pequena.

Se o material contém tanto células abertas quanto intactas devem ser considerados dois processos: um processo inicial de extração por difusão em células abertas, descrito pela equação (2.33), seguido de um processo de sorção nas células fechadas, descrito pelas equações (2.40) e (2.41).

2.3.2.3 Equação de Newman:

Difusão em esferas finitas imersas em uma fase líquida, com pouca agitação.

O modelo desenvolvido por Newman [1931; Crank 1975], considera a extração em um sistema que não está perfeitamente agitado; no qual a taxa de transferência de massa na superfície da partícula é dada pela equação:

$$- De \frac{\partial X}{\partial r} = k (X_s - X_l) \quad (2.42)$$

Onde:

X_s = concentração real na superfície da partícula esférica.

X_l = concentração requerida para manter o equilíbrio com o meio externo, de acordo com a relação:

$$X_l = K_p \cdot Y$$

Y = concentração média da solução de lavagem (constante).

A equação (2.42) substitui a segunda condição de contorno, isto é a equação (2.32) para a equação (2.29). Resolvendo a equação (2.29) com as condições dadas pelas equações (2.30), (2.31) e (2.42) obtém-se a equação de Newman para cálculo do grau de extração do soluto existente na esfera ao longo do tempo:

$$\frac{Y}{Y_\infty} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6 Bi^2}{\beta_n^2 [\beta_n^2 + Bi(Bi - 1)]} \exp \left[-\beta_n^2 \frac{De t}{R^2} \right] \quad (2.43)$$

Onde β_n são as raízes da expressão transcendental:

$$\beta_n \cot \beta_n + Bi - 1 = 0 \quad (2.44)$$

Sendo Bi , o número de Biot, definido pela expressão:

$$Bi = \frac{k \cdot R}{De} \quad (2.45)$$

no qual:

k = coeficiente convectivo de transferência de massa na película.

Este modelo pode ser empregado em situações nas quais temos um número de Biot intermediário, isto é, onde: $0,1 < Bi < 40$.

Casos nos quais a resistência a transferência de massa por convecção é tão importante quanto a transferência de massa por difusão.

Resumindo, temos três casos possíveis de transferência de massa: quando a convecção se constitui no fenômeno limitante, quando a difusão é o processo crítico e, uma faixa intermediária, quando ambos mecanismos são importantes.

2.3.2.4. Equação empírica:

A forma das curvas de extração obtidas na pesquisa sugeriram o uso de uma equação similar à equação (2.26), na qual k'' seria uma função da temperatura e do diâmetro de partícula e o tempo estaria sujeito à correção de um expoente. A equação poderia aplicar-se, com valores diferentes da função de temperatura e dos expoentes, à dois intervalos de tempo que caracterizam processos distintos. A equação teria uso restrito, somente serviria para o caso de extrações em condições idênticas às existentes na pesquisa em batelada aqui descrita:

$$\ln \left[1 - \frac{Y}{Y^*} \right] = [f(T)] dp^a t^b \quad (2.48)$$

2.4 MODELOS DE ANÁLISE DA EXTRAÇÃO EM REGIME CONTÍNUO:

2.4.1 Diagrama Triangular:

O método do diagrama triangular foi por muito tempo, e talvez ainda seja, o método mais empregado para ilustrar o cálculo de extratores sólido-líquido. A teoria do método e exemplos de cálculo aparecem nos livros texto comumente usados: Charm [1978], Brennan [1976], Heldman e Singh [1981], Loncin [1967], Coulson e Richardson [1976] e outros.

2.4.2 Diagrama Triangular modificado:

Em alguns outros textos [McCabe e Smith, 1976; Treybal, 1980] o método anterior sofreu alguns ajustes para facilitar a visualização do cálculo gráfico dos estágios, trabalhar com bases constantes nos balanços de massa e fazer ampliação de escala a partir de dados de equilíbrio prático obtidos em planta piloto.

2.4.3 Método de Plachco e Krasuk:

Vários trabalhos científicos sobre extração sólido-líquido e, em especial, sobre extração de açúcar de beterraba em torres contínuas foram desenvolvidos por um grupo de pesquisadores em universidades da Argentina e Chile nos anos sessenta. Esses trabalhos culminaram no artigo de Plachco e Krasuk [1970] sobre um novo método de cálculo de extratores sólido-líquido em contracorrente.

Eles consideram que na extração contínua a equação de balanço de massa que regem para o sólido seria a mesma equação do processo em batelada com outras nas condições de contorno: o perfil de concentração na solução que envolve as partículas seria idêntico ao perfil de concentração que existiria num difusor em contracorrente, isto é, concentração alta no início e diminuição da concentração conforme o sólido se desloca ao longo do extrator.

Eles apresentam resultados para dois casos de condição inicial do sólido: composição uniforme (por exemplo: matéria prima fresca) e composição não-uniforme (devida à uma curta etapa previa de extração fora do equipamento principal em estudo). Em ambos os casos consideram que a resistência difusional na película externa às partículas é desprezível quando comparada à resistência dentro do sólido. Em consequência disto a composição da solução externa é considerada uniforme e não existe então uma resistência importante à transferência de massa na fase líquida.

No caso de sólido de composição inicial uniforme, Plachco e Krasuk propõem a seguinte equação:

$$\bar{w} = \frac{1}{1 - J} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2e^{-(\rho n^2 \cdot \text{Fick})}}{(J^2 - J + \rho n^2)} \quad (2.47)$$

Onde:

$$\bar{w} = \frac{\bar{w} - w_0}{Kc_L - w_0} = \text{concentração adimensional na fase sólida}$$

$\bar{w}$ = concentração média de soluto no extrator no tempo t
 w_0 = concentração média de soluto no extrator no tempo $t=0$
 Kc_L = concentração média de soluto na saída do extrator

w corresponde à concentração no sólido, g soluto/g inerte.
 c corresponde à concentração no líquido, g soluto/g solvente.

$$K = \frac{\varepsilon \rho_L}{\rho_s} + k_a$$

ε = porosidade do sólido, adimensional
 ρ_L = massa de solvente puro no volume vazio do sólido (poros)
 ρ_s = massa de inerte por volume total de sólido

k_a = constante de equilíbrio (adsorção), g solvente/g inerte
 que no caso da beterraba possui um valor nulo.

$$J = \frac{M \cdot K}{Q} = \text{quociente adimensional de escoamento}$$

M = vazão mássica de inerte, g inerte/s

Q = vazão mássica de solvente, g solvente/s

$$\rho_n = J \cdot \tan(\rho_n); n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\text{Fick} = \frac{D_e \cdot t}{l^2}$$

D_e = difusividade efetiva, cm^2/s

t = tempo de extração no extrator contínuo, segundos

l = metade da espessura da partícula de beterraba, cm

3. MATERIAIS E METODOS:

3.1. MATERIAIS:

3.1.1 Cana-de-açúcar:

Empregou-se cana-de-açúcar produzida em Paulínia, Estado de São Paulo. Predominava na época dos estudos o cultivo da variedade proveniente do Norte da Argentina, denominada NA-5662, que era produzida tanto para fornecimento normal ao engenho de álcool da região como para o consumo dos vendedores ambulantes de suco de cana ("garapeiros").

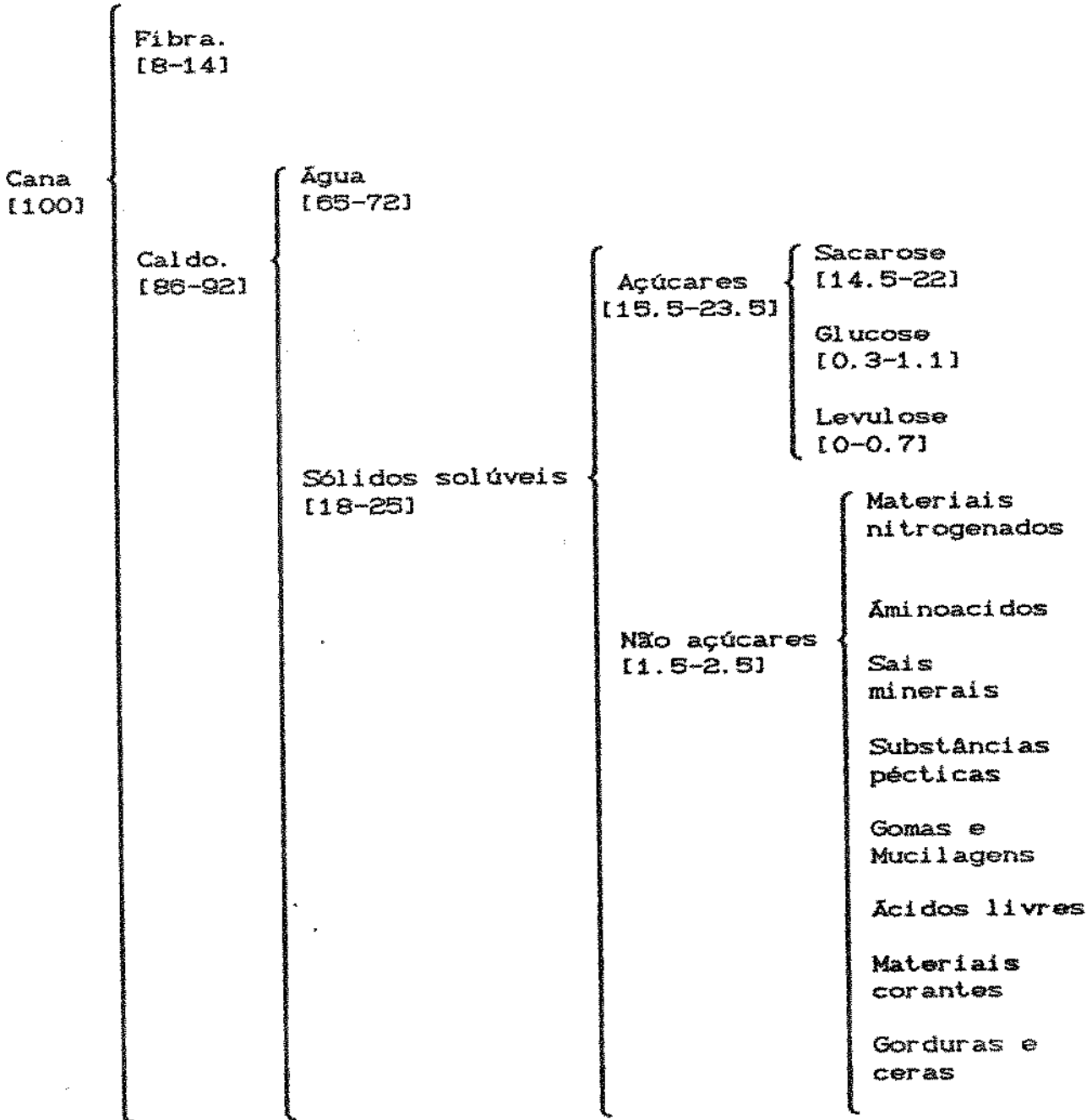
A maior parte das pesquisas de extração em batelada ocorreu nos meses de novembro a fevereiro quando a destilaria de aguardente "Usina Paraíso" de Paulínia já havia encerrado seu ciclo anual de atividades e liquidado com todo o seu estoque de cana-de-açúcar madura. A única cana-de-açúcar disponível nesse período era a cana produzida especialmente para os garapeiros. Essa cana era de melhor qualidade que a consumida no engenho de álcool: mais madura e portanto mais doce, um pouco mais seca, com menor ataque de pragas (broca), com menos sujeira (terra, cinzas), desfolhada manualmente e as vezes raspada para tirar a casca e dar-lhe melhor aspecto e garantir uma qualidade melhor da garapa. Esses lotes eram adquiridos diretamente dos garapeiros ou dos agricultores que lhes forneciam a matéria prima.

Já nas pesquisas de extração em regime contínuo, por esta requerer quantidades bem maiores de matéria prima, os testes foram realizados na época de colheita normal de cana-de-açúcar, isto é, de maio a outubro, e foi usada exclusivamente cana comum, doada pela Usina Paraíso e que era recolhida diretamente do pátio de matéria prima ou na plantação.

Esta cana-de-açúcar apresentava uma grande variação na sua qualidade: variavam o teor de Brix, umidade, índice de ataque de broca e fermentações decorrentes, presença de restos de folhas verdes ou queimadas, terra e outros materiais; sendo necessário em algumas ocasiões lavá-la com jatos de água para retirar a sujeira, principalmente cinzas e terra. A variação na qualidade da cana ocorreu tanto ao longo da colheita como de um dia para o outro, dependendo dos lotes colhidos (em terrenos diferentes com maturação diferente) ou mesmo por influência da chuva no dia anterior à colheita.

A cana adquirida podia ficar armazenada de maneira adequada por um período não superior a 10 dias após o corte, sem que se notasse a decomposição.

Leme e Borges [1965] no livro "Açúcar de cana" apresentam os valores da "composição tecnológica de cana cultivada no Estado de São Paulo, madura, normal e sadia", os quais se mostram a seguir:



Portanto temos:

$$\frac{\text{Açúcares}}{\text{Sólidos solúveis}} = 0.878-0.940 \text{ (valor médio: 0.909)}$$

3.1.2 Água:

Sempre se usou água potável proveniente do sistema de fornecimento da Unicamp. A água era de boa qualidade, límpida, sem dureza, cheiro ou grande excesso de cloro. A temperatura da água oscilou entre 17°C no inverno e 27°C no verão, sendo que os valores mais comuns de temperatura se encontraram na faixa de 21°C a 25°C. A temperatura de 23°C pode ser considerado o valor médio para a temperatura ambiente da água.

3.1.3 Cal:

O cal empregado nos ensaios tinha qualidade de reagente de laboratório.

3.2. MÉTODOS:

3.2.1 Armazenamento da cana:

A cana era armazenada num estrado de madeira, protegida do sol, da chuva e do contato direto com o chão.

3.2.2 Preparação:

Para fragmentar a cana, esta era submetida à ação de um triturador.

Nas etapas iniciais da pesquisa usamos o triturador de dentes da Metalúrgica Veneta (figura 3.1). A capacidade do equipamento era de 100 a 500 kg de cana por hora, com motor de 3 hp e velocidade de giro de 1730 RPM.

Nas etapas finais da pesquisa, quando desenvolvíamos as experiências de extração contínua, substituímos o moinho Veneta para melhorar o funcionamento mecânico do extrator pois um outro moinho produzia um material mais fino e mais uniforme no qual era difícil encontrar pedaços grandes que pudessem travar a máquina. Este novo equipamento era da marca Nogueira (figura 3.2), modelo DPM-1, com capacidade de 100 a 200 kg de cana por hora, motor de 7,5 hp e velocidade de giro de 3900 RPM. Na fase final da pesquisa, o motor foi substituído por outro de 3 hp e 1730 RPM.

3.2.3 Brix:

Para medir a concentração do soluto nos caldos de extração optou-se pela determinação do Brix por vários motivos: era o método mais simples, permitia fazer medições com volumes pequenos de amostra, havia antecedentes de uso desse método na indústria de difusores [De Smet Engineering, 1981] e, considerando a pouca

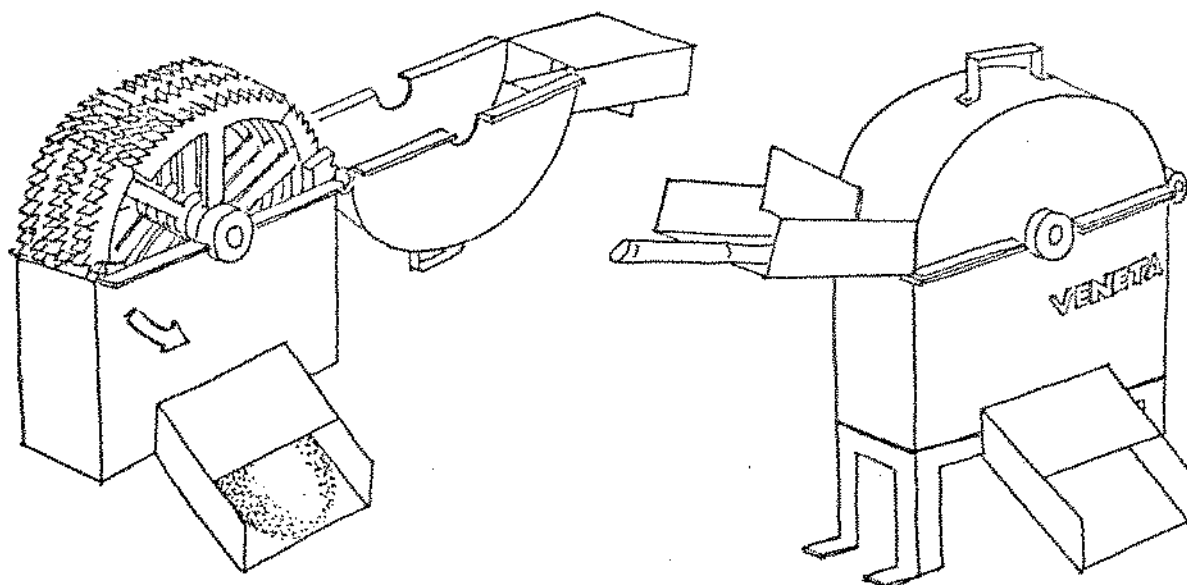


Figura 3.1 Moinho triturador, de rodas dentadas, da Metalúrgica Veneta (São Paulo).

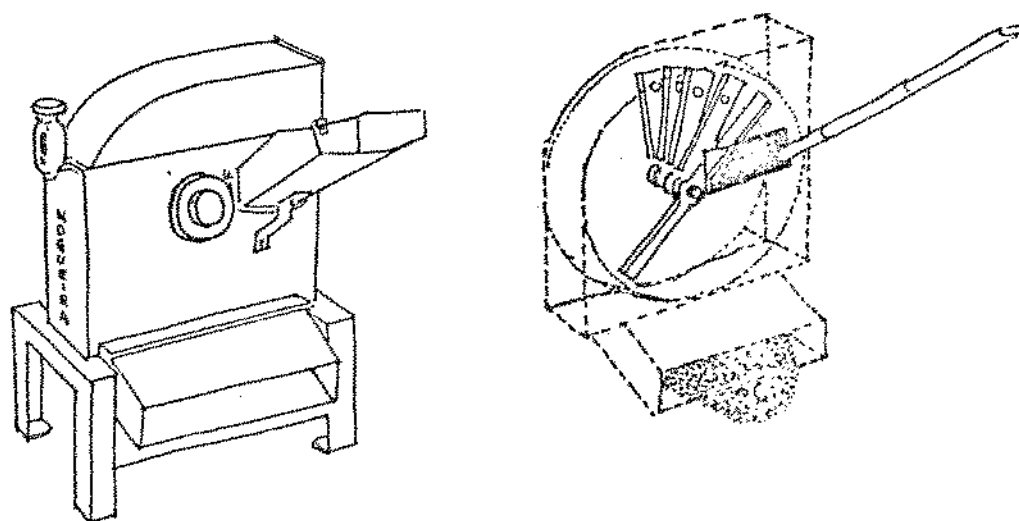


Figura 3.2 Moinho triturador para cana-de-açúcar, de tipo faca e martelos, modelo DPM-1 da marca Nogueira (Itapira).

disponibilidade de instrumentos de medição, reagentes e funcionários, o único método realmente viável para o fim proposto. Em outras condições poderíamos usar a medição de Pol ou ainda uma correlação entre Pol e Brix para o tipo de cana empregado e levando em conta a época de colheita, se nossa finalidade fosse a obtenção de sacarose para indústria de açúcar.

O grau Brix do caldo de cana e dos caldos de extração era determinado manualmente tomando amostras de 1 ou 2 mililitros com seringas e colocando estas amostras em tubos de ensaio. As amostras depois eram colocadas num Refratômetro tipo Abbé, marca Zeiss Ikon. As determinações foram realizadas a temperatura ambiente (22-25 °C). O refratômetro era zerado periodicamente, usando água destilada como fluido de referência.

No caso especial do caldo de cana natural, sem contato com solvente, tomava-se uma porção de cana-de-açúcar triturada, procurando que fosse o mais representativa possível, e submetia-se a expressão em um espremedor manual. O caldo obtido era recolhido em um bquer e depois colocava-se num tubo de ensaio que era tampado com um pedaço de algodão. Para colocar as amostras no refratômetro usaram-se varas de vidro e chumaços de algodão limpo de uso hospitalar.

3.2.4 Umidade:

Na pesquisa em batelada, determinava-se sempre, no início de cada experimento, a umidade da cana recém triturada, colocando três amostras em placas Petri. As amostras eram colocadas em uma estufa com circulação forçada de ar, a 60°C, até peso constante, o que ocorria em menos de 24 horas.

Na pesquisa de extração no sistema contínuo media-se também a umidade do sólido residual, com o mesmo procedimento empregado para a matéria prima.

3.2.5 Temperatura:

Foram usados termômetros de vidro, os quais haviam sido previamente conferidos.

3.2.6 Embebição:

Após a experiência de extração em batelada a matriz sólida era escorrida por um minuto e em seguida determinava-se a massa do produto drenado para se determinar a retenção de líquido pelo material. Essa matriz sólida que na tecnologia de extração por moendas é conhecida como "bagaço" na tecnologia de difusor é designada como "megaço". Denominou-se como "embebição" a relação entre massa de megaço e massa de cana (em estado natural).

3.2.7 Determinação do tamanho de partícula:

Depois da experiência de extração, o produto sólido drenado era colocado em bandejas de alumínio, dentro das quais ele permanecia durante um dia, submetido a secagem em estufa a 50-60°C. O material resultante era retirado da bandeja com cuidado e colocado em folha de alumínio. Uma amostra em torno de 100 g. era colocada no sistema de separação composto de mesa vibratória Produtest e 5 peneiras Granuteste com números de série Tyler: 8, 14, 28, 48 e 100 e mais o coletor do fundo. As aberturas de furo correspondentes são: 2,38; 1,19; 0,59; 0,297 e 0,149 mm, respectivamente. Decorridos 5 minutos de vibração, com o reostato na posição 7, recolhia-se o material retido em cada peneira, pesava-se e procedia-se ao cálculo do diâmetro médio de partícula.

A metodologia empregada na determinação do tamanho médio de partícula está descrita no livro de Henderson e Perry [1955]. Outras técnicas mais apuradas vieram a ser propostas posteriormente. Decidimos manter a metodologia empregada desde o início das pesquisas para ter o mesmo referencial em todas elas e também pela simplicidade do método.

Quadro para cálculo do diâmetro médio de partícula:

Número da peneira (mesh)	Massa da cana (gramas)	Fração centesimal	Abertura média entre peneiras (mm)	Ponderação do tamanho (di)
8	m ₁	m ₁ /m _t	3.5305	3.5305 m ₁ /m _t
14	m ₂	m ₂ /m _t	1.7650	1.7650 m ₂ /m _t
28	m ₃	m ₃ /m _t	0.8785	0.8785 m ₃ /m _t
48	m ₄	m ₄ /m _t	0.4420	0.4420 m ₄ /m _t
100	m ₅	m ₅ /m _t	0.2210	0.2210 m ₅ /m _t
Fundo	m ₆	m ₆ /m _t	0.0735	0.0735 m ₆ /m _t

$$m_t = \sum_{i=1}^6 m_i$$

$$\bar{d}_p = \sum_{i=1}^6 d_i$$

A determinação de tamanho médio de partícula foi feita com cana após extração (isto é, sem açúcar) para se evitar a aglomeração das partículas verificada quando se empregou o método acima para cana triturada fresca (ou seja, com açúcar). Esta última quando desidratada em bandejas a 60°C produzia aglomerados de partículas, talvez em razão da caramelização do açúcar residual. A cana lavada dava um produto seco com pouca agregação.

3.2.8 Equipamento e procedimentos usados na extração em batelada:

As experiências de extração em batelada foram desenvolvidas em dois tipos de equipamentos, cujos esquemas aparecem nas figuras 3.3 e 3.4.

O primeiro deles (figura 3.3) simulava as tinas de extração de um difusor tipo Kennedy, com opções para movimentar as partículas (agitador rotativo, com eixo horizontal, de acionamento manual) e para recircular o caldo (filtro, bomba centrífuga e circuito de tubulação, trocador de calor e aspersores).

Depois de constatar que a agitação não influía muito no rendimento de extração em batelada nas tinas tipo Kennedy, realizamos as experiências restantes (a maior parte delas) em um equipamento mais simples (bequer de vidro e cesta de nylon), que permitia um bom controle da temperatura, pois fazia uso de um banho termostato rápido e preciso (veja a figura 3.4).

Nesse novo equipamento repetimos todas as experiências desenvolvidas anteriormente.

Para determinar a influência da temperatura o banho foi colocado a 30, 40, 50, 60, 70 e 80°C. A água usada como solvente era adicionada quente para atingir mais rapidamente a temperatura desejada.

Para analisar o efeito da agitação, agitávamos manualmente com um bastão de vidro a diversas taxas de movimento circulatório.

Para determinar a influência da preparação do material usávamos cana triturada em moinho de dentes (Veneta) ou de faca e martelos (Noqueira). A velocidade de alimentação da cana no triturador nos permitia estabelecer diversos tamanhos de partículas.

Para determinar a influência do pH adicionamos cal ao solvente empregado (água).

A experiência de extração em batelada ocorria da seguinte maneira:

Colocavam-se 150 gramas de cana triturada numa cesta de nylon com o peso previamente determinado. A cesta com o material era introduzida num bequer de vidro pyrex de 1 litro de capacidade. A seguir adicionavam-se 600 ml de água a uma temperatura previamente calculada e disparava-se o cronômetro. Essa quantidade de água garantia que toda a cana ficasse inundada. O bequer ficava dentro de um banho térmico, suspenso por um anel metálico preso a uma estrutura externa.

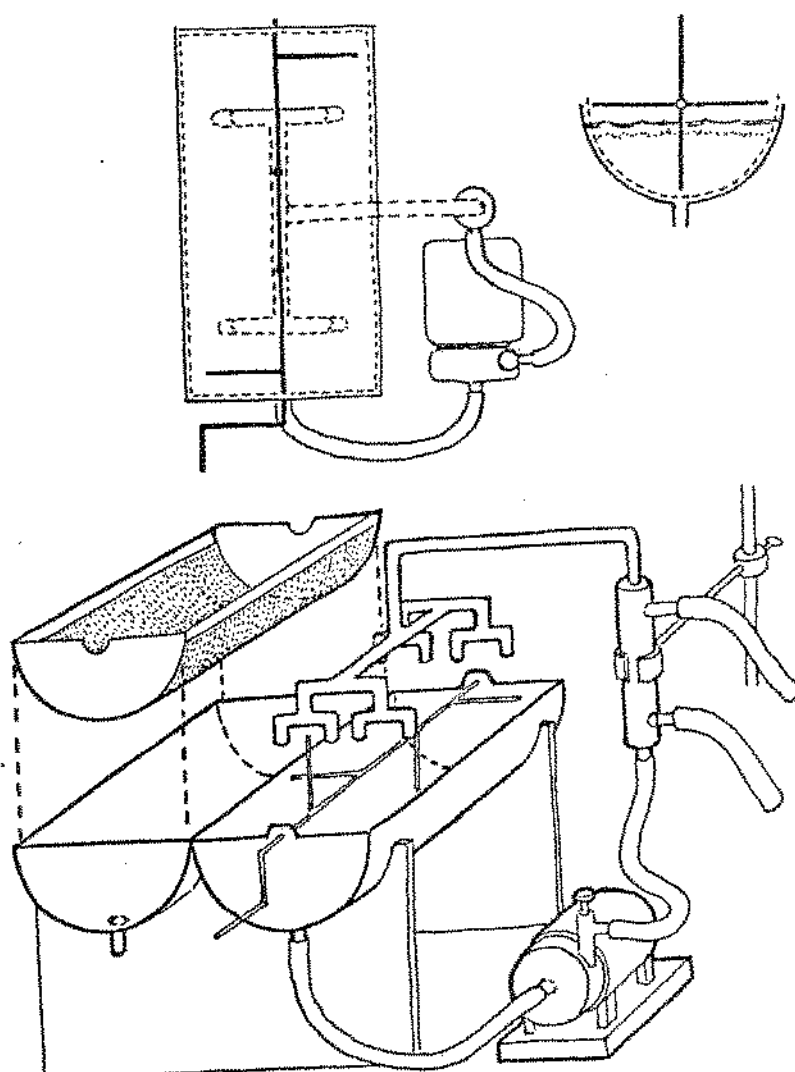


Figura 3.3

Tinas para extração em batelada, que simulavam um extrator tipo Kennedy, com dispositivo de uso opcional de aquecimento e recirculação de líquido.

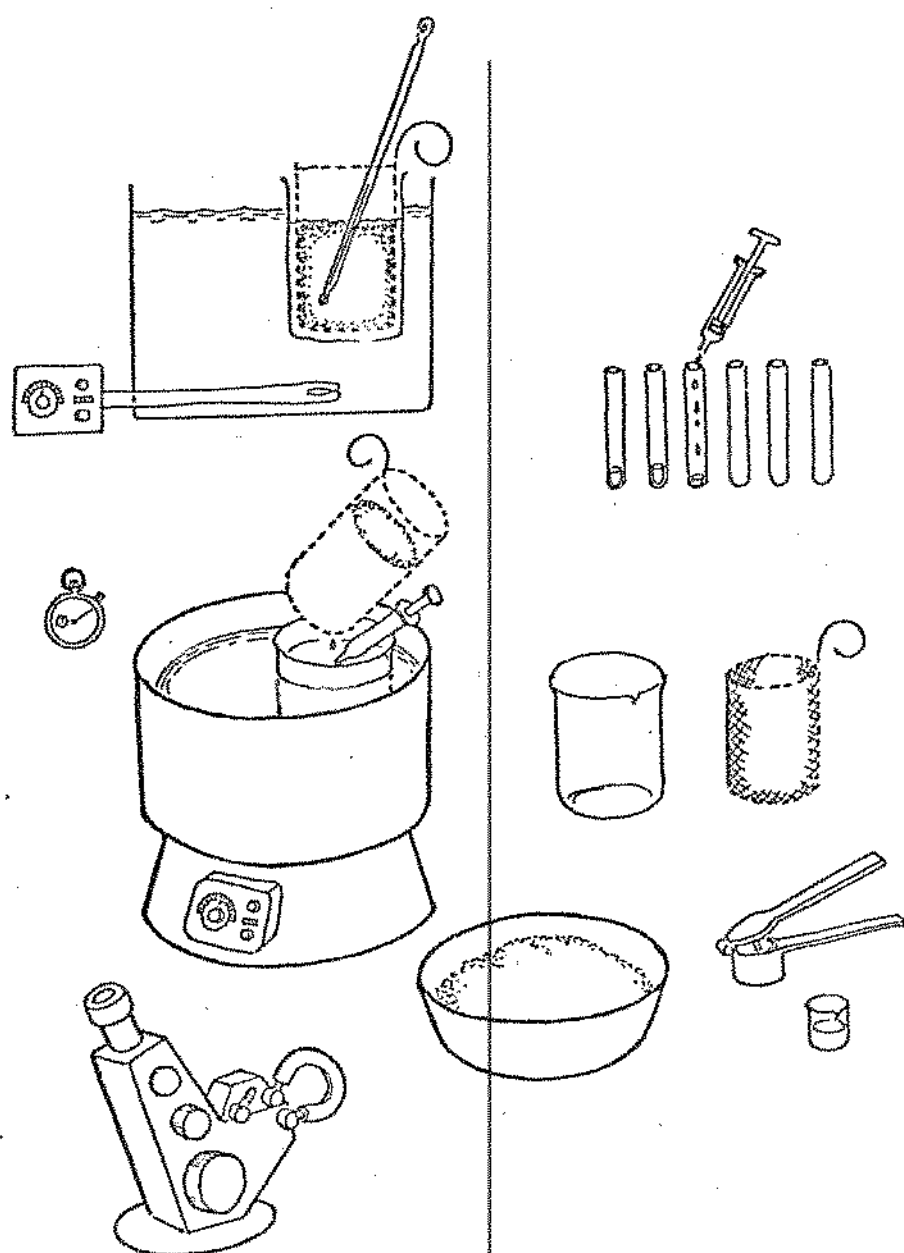


Figura 3.4

Aparelhagem usada na maior parte das experiências de extração dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar, em batelada, usando leite inundado.

Tomavam-se amostras nos tempos de 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; e às vezes, 30 minutos. Para tomar a amostra, o cesto era levantado e com uma seringa de plástico tomava-se uma amostra, de 1 cm³ aproximadamente, do caldo existente no bequer. Depois disso o cesto era colocado novamente no bequer.

As leituras de Brix eram feitas de forma paralela ao experimento ou ao término dele.

Durante a extração verificava-se a temperatura do banho e no fim da experiência escorria-se o cesto para determinar o valor da massa drenada. Recolhia-se uma amostra do sólido drenado para determinar tamanho de partícula e, às vezes, umidade e Brix do sólido residual.

3.2.9 Equipamento e procedimentos usados na extração contínua:

A cana que iria ser utilizada na pesquisa era colhida no campo, dois dias antes da experiência e, no mesmo dia, tritura-se uma amostra para medir Brix do caldo e umidade da cana.

Um dia antes da experiência eram feitos os cálculos da composição da cana e da vazão de água a ser empregada. Estimava-se a composição dos caldos das tinas do difusor e preparavam-se soluções de sacarose para colocar nas tinas de maneira a facilitar a entrada em regime.

A experiência de extração em regime contínuo era desenvolvida em duas etapas:

Na primeira delas, procurava-se colocar o extrator em estado de regime estacionário.

Na segunda, quando se constatava ter sido atingido o regime estacionário, procurava-se manter esse estado o maior número de horas possível.

Durante o decorrer da experiência eram desenvolvidos os seguintes trabalhos:

- (1) Trituração da cana e homogeneização da matéria prima triturada.
- (2) Pesagem das porções de cana (400 gramas) que iriam ser alimentadas a cada 2 minutos e 20 segundos.
- (3) Alimentação da cana triturada.
- (4) Tomada de amostras do caldo nas nove tinas do difusor.

- (5) Verificação do desempenho dos diversos componentes do difusor: pás giratórias, raspadores, engrenagens, eixos, corrente, rotâmetro, válvulas e sistema de aquecimento.
- (6) Coleta do resíduo sólido (megaço) e do extrato final.
- (7) Leitura do Brix dos caldos, da cana e do megaço a cada hora.
- (8) Registro de Brix, elaboração do gráfico de controle e ajustes no processo.

Ao finalizar a experiência eram tomadas, em cada uma das tinas, amostras do sólido em processo.

Sempre que possível, se refazia a experiência no dia seguinte.

Descrição do difusor de planta piloto:

O modelo de extrator escolhido para desenvolver foi do tipo leito submerso, com escoamento em contracorrente. Nele o sólido pode avançar de estágio em estágio, impulsionado por pás radiais giratórias ou por pás inclinadas auxiliadas por raspadores, sendo que somente esta última opção foi testada para facilitar o controle e a visualização do processo.

O equipamento empregado está mostrado na figura 3.5. Ele foi construído em Campinas, na Oficina da Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia de Alimentos "André Tosello".

O líquido poderia avançar de estágio em estágio por vasos comunicantes com o extrator nivelado horizontalmente ou por escoamento gravitacional no extrator colocado com inclinação leve (de 4 a 10 graus). O sistema de escoamento por vasos comunicantes instalado no difusor deu problemas de entupimento e, afinal, ficamos somente com a opção de extrator inclinado, o que levou o equipamento a parecer-se muito com o extrator tipo Kennedy.

O extrator tinha nove tinas semicilíndricas dispostas transversalmente ao sentido de escoamento dos materiais. A cada tina correspondia um eixo giratório com pás que varriam lentamente o depósito e encaminhavam o sólido à tina seguinte.

O número de tinas foi estimado para extrair 90 % dos sólidos solúveis de cana de açúcar triturada com moinho Veneta, a uma temperatura de 67°C, considerando uma eficiência média de estágio de 66% e uma relação (Solvente/Materia prima) igual a dois. Nos cálculos foi usada uma linha de composição de sólidos escorridos determinada experimentalmente ($X_{f,m} = 0,088$), para cana triturada em moinho Veneta, extraída com água à 67°C. O número de estágios teóricos, determinado graficamente, dividido pela eficiência média

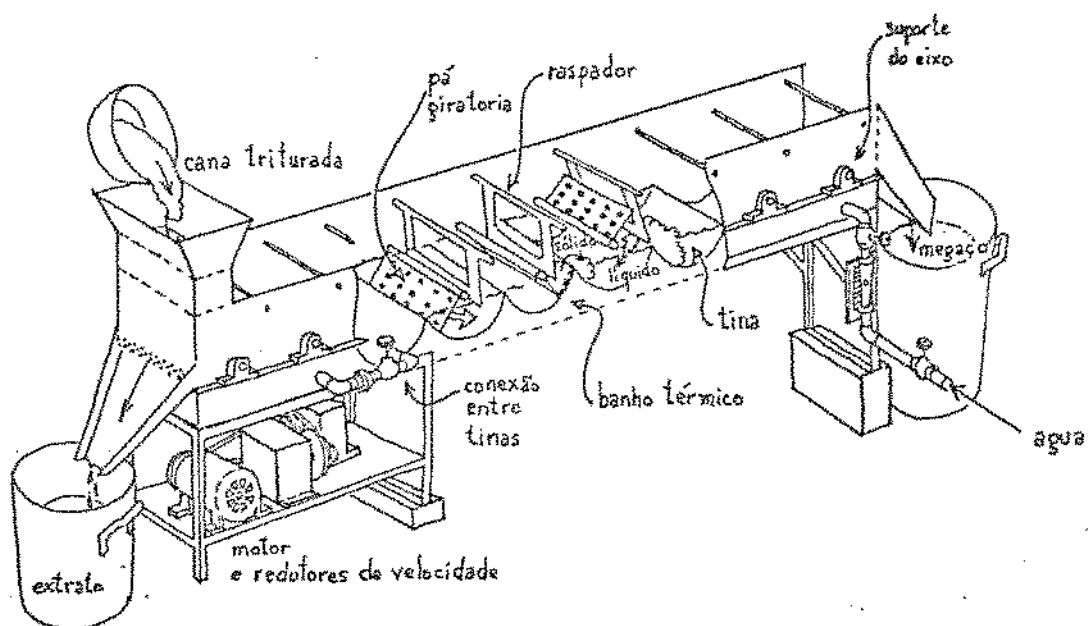


Figura 3.5

Esquema do difusor de planta piloto, de tipo Kennedy, usado na pesquisa de extração contínua dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar.

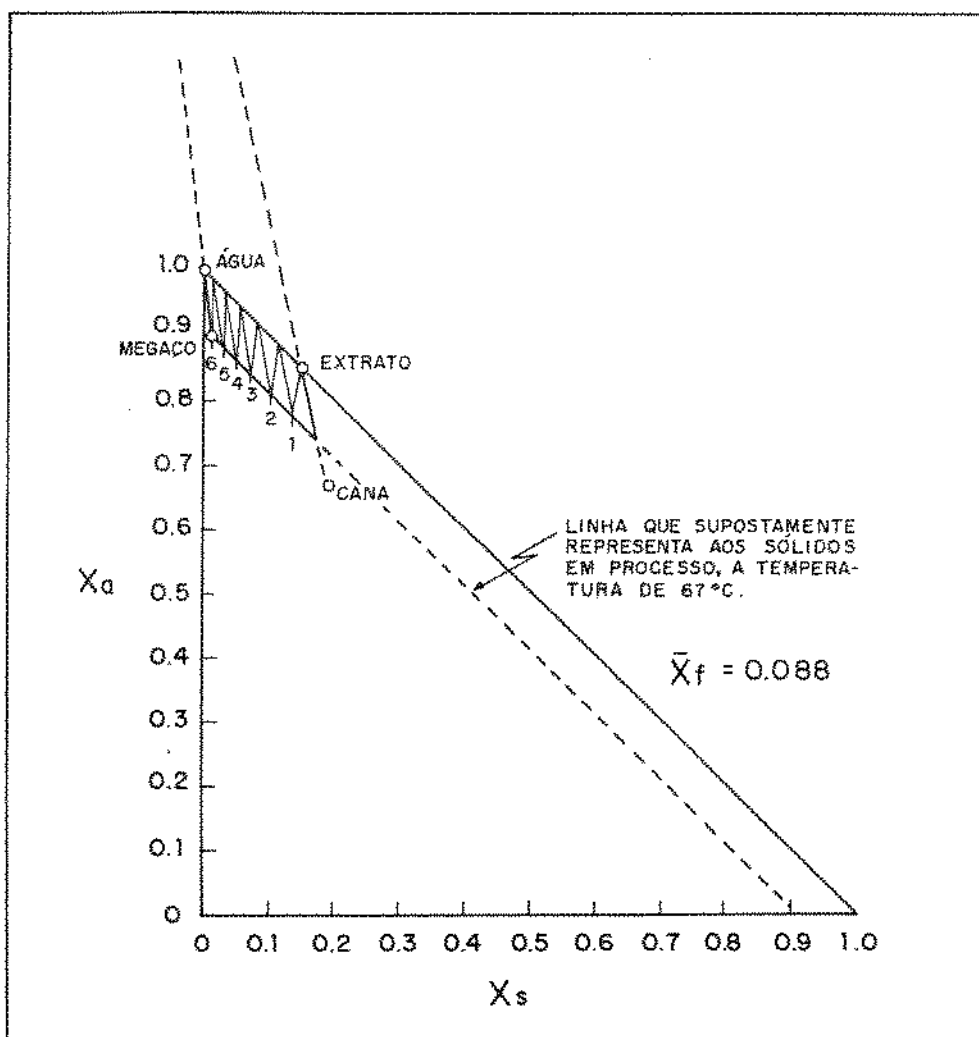


Figura 3.6

Cálculo gráfico do número de estágios teóricos do extrator de planta piloto, funcionando à temperatura de 67°C, prevendo uma extração de 66% dos solutos da cana preparada em triturador Veneta.

de estágio permitiu estimar nove estágios reais.

O tempo de permanência desejado era de 30 minutos, mas o equipamento de movimentação de sólidos que pudemos conseguir não permitiu tempos maiores que 22 ou 24 minutos.

Os estágios no aparelho correspondiam a tinas semicilíndricas com diâmetro de 0,27 m e comprimento de 0,257 m. O volume de líquido contido em cada tina do difusor era de cerca de 7 litros, quando funcionava inclinado.

A carga do material na primeira sequência do equipamento, quando se usou o moinho Veneta, foi de 12,27 kg de cana triturada por hora.

Na segunda fase da pesquisa, quando se usou o moinho Nogueira na preparação da cana, constatou-se que a capacidade de processamento, para evitar problemas mecânicos, tinha que ser reduzida para 10,85 kg de cana por hora. A alimentação era de 440 gramas a cada rotação da pá, o que ocorria a cada 2 minutos e 26 segundos.

A vazão de água era de 20 litros por hora, correspondente a uma proporção de 2 vezes a massa de cana alimentada. Proporção que foi determinada previamente no laboratório e confirmada, inicialmente pelas relações empíricas determinadas e posteriormente pelos cálculos realizados.

O difusor dispunha de uma camisa de aquecimento por onde escoava água quente, que permitia realizar extração a 40°C. A água empregada como solvente podia ser preaquecida até uma temperatura máxima de 80°C.

3.2.10 Cálculos básicos de composição da cana e grau de extração:

(1) Umidade base úmida da cana:

$$UC = \frac{\text{kg de água (evaporada)}}{\text{kg de cana triturada (úmida)}} \quad (3.1)$$

(2) Brix do caldo absoluto ou caldo natural da cana (medida dos sólidos solúveis ou soluto):

$$BC = \frac{\text{kg de sólidos solúveis}}{100 \text{ kg de caldo}} \quad (3.2)$$

(3) Composição da cana a partir do balanço de massa na fase líquida, utilizando somente os valores de BC e UC, já conhecidos, tomando como base 100 kg de caldo:

$$\begin{array}{rcl} 100 & = & BC + [100-BC] \\ \text{kg caldo} & & \text{kg soluto} \quad \text{kg água} \end{array} \quad (3.3)$$

Da equação (3.1) temos que a massa de água para uma quantidade QC de cana é dada por:

$$\text{kg água} = (UC) (QC) \quad (3.4)$$

Conhecida a proporção entre soluto e água descrita na equação (3.3) e a quantidade de água existente em uma quantidade QC de cana (3.4), podemos mediante uma regra de três escrever a seguinte equação:

$$\text{kg soluto} = \frac{BC [UC \times QC]}{[100 - BC]} \quad (3.5)$$

Conhecidas as quantidades de cana, soluto e água, a quantidade de fibra pode ser calculada por diferença:

$$\text{kg fibra} = QC - \text{kg soluto} - \text{kg água} \quad (3.6)$$

Conhecidas as massas de água e soluto, pode proceder-se ao cálculo das frações mássicas:

$$X_{s,c} = \frac{\text{kg soluto}}{\text{kg cana}} \quad X_{a,c} = \frac{\text{kg água}}{\text{kg cana}} \quad X_{f,c} = \frac{\text{kg fibra}}{\text{kg cana}}$$

Fração mássica de soluto na cana:

$$X_{s,c} = \frac{(BC) (UC)}{(100 - BC)} \quad (3.7)$$

Fração mássica de água na cana:

$$X_{a,c} = UC \quad (3.8)$$

Fração mássica de fibra na cana:

$$X_{f,c} = 1 - X_{s,c} - X_{a,c} \quad (3.9)$$

$$X_{f,c} = 1 - UC \left[1 + \frac{BC}{100 - BC} \right] \quad (3.10)$$

Açúcar extraído no caldo:

$$\text{kg caldo de extração} \times \left[\frac{\text{kg soluto}}{\text{kg caldo}} \right] = \text{kg caldo} \times \frac{\text{Brix}}{100} \quad (3.11)$$

Índice porcentual de extração em um estágio:

$$\eta = \frac{(\text{kg caldo}) (\text{Brix caldo extraído})}{(\text{kg cana}) (X_{s,c})} = \frac{\text{kg soluto extraído} \times 100}{\text{kg soluto na matéria prima}} \quad (3.12)$$

Brix de equilíbrio (B*):

Balço de sólidos solúveis considerando solubilização total do soluto e um resíduo sólido sem retenção preferencial do soluto:

Quantidade de açúcar na cana = Quantidade de açúcar no caldo

$$\left[\text{Quantidade de caldo} \cdot \text{Brix} \right]_{\text{cana}} = \left[\text{Quantidade de caldo} \cdot \text{Brix} \right]_{\text{solução final}}$$

$$\left[\begin{array}{c} \text{kg caldo} \\ \text{na cana} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \text{Brix} \\ \text{da cana} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{kg caldo} + \text{kg água} \\ \text{na cana} \quad \text{adicionada} \end{array} \right] [B^*]$$

$$B^* = \frac{BC \times \text{kg caldo na cana}}{\text{kg caldo na cana} + \text{kg água adicionada}} \quad (3.13)$$

$$B^* = \frac{BC}{1 + \frac{\text{kg água adicionada}}{\text{kg caldo na cana}}}$$

(3.14)

Seja:

$$Ti = \text{taxa de inundação} = \frac{\text{kg de água adicionada}}{\text{kg de cana usada}} \quad (3.15)$$

$$\text{kg água adicionada} = (Ti) (\text{kg cana}) \quad (3.16)$$

$$\text{kg caldo na cana} = \text{kg cana} [X_{d,c} + X_{s,c}] \quad (3.17)$$

Substituindo as equações (3.7) e (3.8) na equação (3.17), temos:

$$\text{kg caldo na cana} = \text{kg cana} \left[UC \left[1 + \frac{BC}{100 - BC} \right] \right] \quad (3.18)$$

Portanto, a equação (3.13) altera-se para:

$$B^* = \frac{BC}{1 + \frac{Ti (\text{kg cana})}{\text{kg cana} \left[UC \left[1 + \frac{BC}{100 - BC} \right] \right]}} \quad (3.19)$$

Rearranjando, usando a equação (3.15), temos:

$$B^* = \frac{BC}{1 + \frac{Ti (100 - BC)}{100 (UC)}} \quad (3.20)$$

Geralmente a relação de solvente e matéria-prima nas experiências de extração em batelada era de 4, que correspondia à quantidade necessária para inudar totalmente o leito de cana triturada ($Ti = 4$).

Grau de extração:

$$\frac{M_t}{M_{\infty}} = \frac{\text{kg soluto extraído}}{\text{kg soluto possível de extrair}} = \frac{(B \text{ caldo}) \text{ kg caldo}}{(B^*) \text{ kg caldo total}} \quad (3.21)$$

Se podemos usar a aproximação, $\text{kg caldo} \cong \text{kg caldo total}$, teremos:

$$\frac{M_t}{M_{\infty}} \cong \frac{B}{B^*} \quad (3.22)$$

Considerando extrações da ordem de 90 % o erro possível é inferior à 2%. Assim sendo, esta aproximação foi considerada no presente trabalho.

4. EXTRACAO EM BATELADA:

4.1 OBJETIVO:

Um dos trabalhos da tese consistiu em analisar o fenômeno de extração dos solúveis da cana-de-açúcar, no processo em batelada, visando obter subsídios técnicos para a análise do processo contínuo.

Com essa finalidade foram realizadas experiências de extração utilizando água como solvente. Foram estudados, principalmente, os efeitos da temperatura e do tamanho do sólido.

Tivemos alguns problemas na análise da informação levantada, devido à mudança da equação usada para interpretação do fenômeno de extração. Usamos inicialmente um modelo de coeficiente de película líquida resistiva, no qual as concentrações do líquido eram medidas em Brix e a concentração final correspondia ao Brix de equilíbrio (B^*). Este modelo, cuja equação final resultava em uma equação similar à equação (2.46) e que nos serviu para planejar a pesquisa e a obtenção de dados, se mostrou insatisfatório para explicar adequadamente o fenômeno sob estudo e limitou bastante o aproveitamento posterior do trabalho experimental quando foram empregadas outras abordagens de análise da extração.

4.2 RESULTADOS:

Mostramos a seguir os gráficos mais representativos da pesquisa realizada.

Primeiramente, na figura 4.1, o gráfico que mostra a relação entre o grau de extração (B/B^*) e o tempo (t), para vários tamanhos de partícula, à temperatura ambiente (23°C). Pode observar-se que mesmo a temperatura ambiente podem ser conseguidos graus de extração elevados (acima de 90%) simplesmente cuidando de ter uma boa trituração, para obter preparados com tamanho médio menor de 1,4 mm. Em vista dos resultados obtidos, pode-se justificar a tendência existente na indústria de considerar a preparação da cana de açúcar como uma operação fundamental quando se busca uma maior produtividade na extração de cana-de-açúcar, tão importante quanto o próprio processo de extração sólido-líquido.

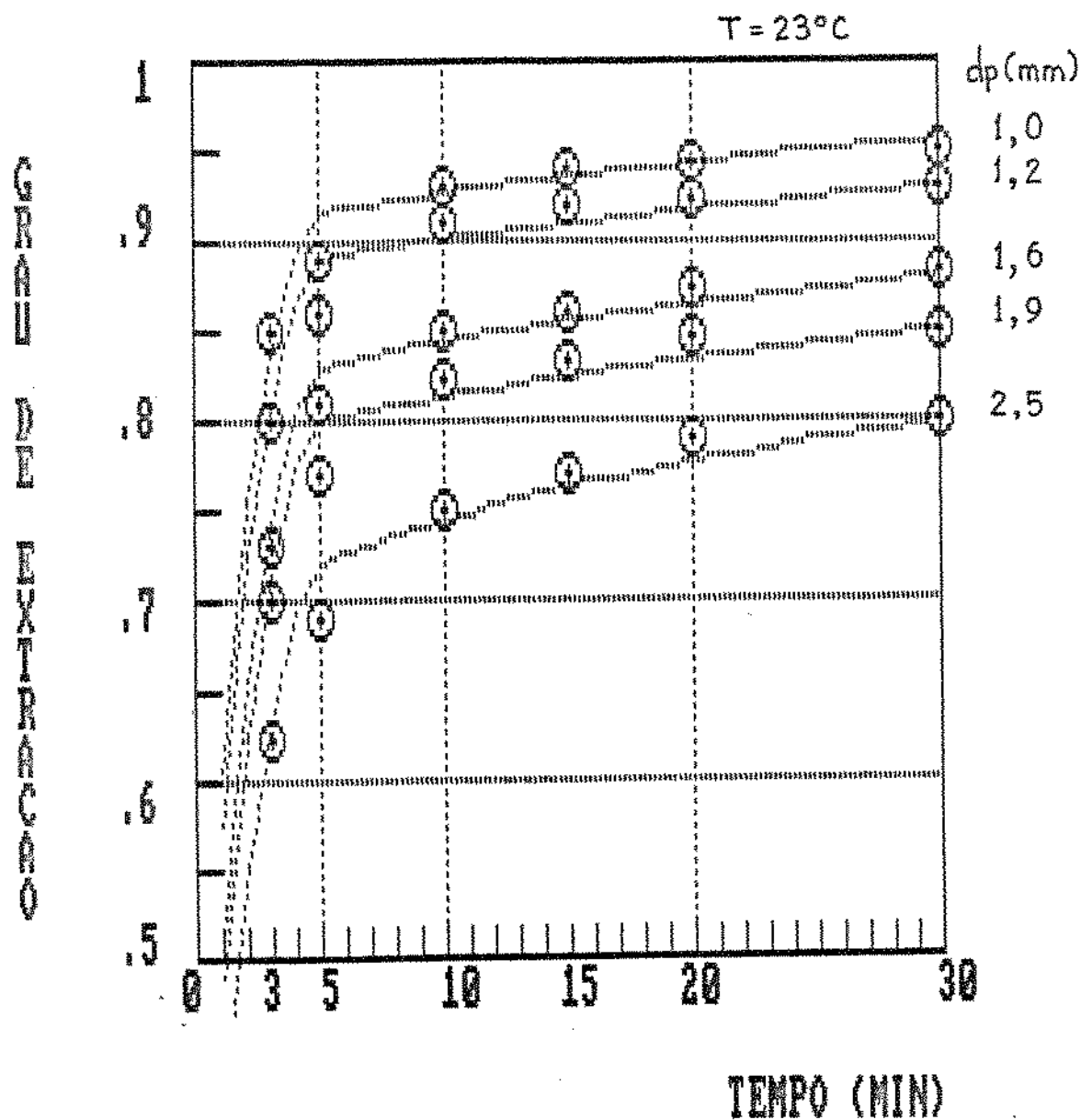


Figura 4.1

Efeito do tamanho de partícula no grau de extração (B/B^*) no decorrer da extração em batelada, em leite inundado, dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar à temperatura ambiente (23°C).

Em seguida, na figura 4.2, o gráfico que mostra a influência da temperatura no grau de extração, no decorrer do processo em batelada, para partículas de tamanho considerado médio (1,9 mm). O gráfico foi subdividido para mostrar que nas temperaturas altas (60-80°C) o aumento do grau de extração é relativamente pequeno e que ocorre uma reversão no fenômeno pesquisado: o grau de extração é menor a 70°C do que a 60°C, já na temperatura de 80°C o grau de extração obtido é menor durante a maior parte do processo porém consegue-se igualar no final da extração (30 minutos) com o nível correspondente à extração a 60°C. Este gráfico, assim como o anterior, provém da pesquisa de extração com leite imerso no solvente, usando 600 ml de água por 150 g de matéria prima em batelada.

Para evidenciar o tipo de processo que ocorre na lavagem de cana-de-açúcar plotamos o logaritmo da proporção de soluto residual ($\ln [1-(B/B^*)]$) versus tempo. Os gráficos obtidos, figuras 4.3 e 4.4, fazem evidente a existência de dois processos distintos de extração, que ocorrem seqüencialmente.

Como se pode notar pela inclinação das curvas das figuras 4.3 e 4.4, haveria inicialmente um processo de extração rápido (3 minutos), que reduziria a presença de soluto até 35 ou 10% (dependendo da temperatura e do diâmetro da partícula) seguido de um processo muito mais lento (que transcorreu em 17 ou 27 minutos, conforme a experiência) que reduziria o conteúdo de soluto até 20 ou 4% (o nível final seria determinado pelas características de temperatura do solvente e preparação do material empregado).

Outro gráfico importante, que resume as pesquisas em batelada, se apresenta na figura 4.5. São famílias de curvas que permitem predizer o rendimento de extração para partículas de cinco tamanhos diferentes, a três temperaturas distintas, em tempos de contato que vão de 5 até 30 minutos.

Durante a presente pesquisa usamos dois trituradores diferentes, o triturador de roda dentada (Veneta) e o triturador de faca e martelos (Nogueira), ambos com alimentação lenta, controlada manualmente. A figura 4.6 ilustra o comportamento dos preparados obtidos com estes trituradores na extração em batelada. Como se pode observar o triturador de faca e martelos produziu um preparado de menor diâmetro médio (1,2 mm), com esse preparado obtiveram-se graus de extração sempre maiores que os obtidos com o preparado mais grosso (1,9 mm) produzido pelo triturador de roda dentada. Pelo mesmo gráfico pode observar-se que o aumento da temperatura do solvente teve, em geral, um efeito positivo na extração, porém no intervalo de 55 a 70°C constatou-se uma queda no grau de extração. Possivelmente ocorre, nesse intervalo, uma reação de hidratação do amido da cana ou alguma outra reação,

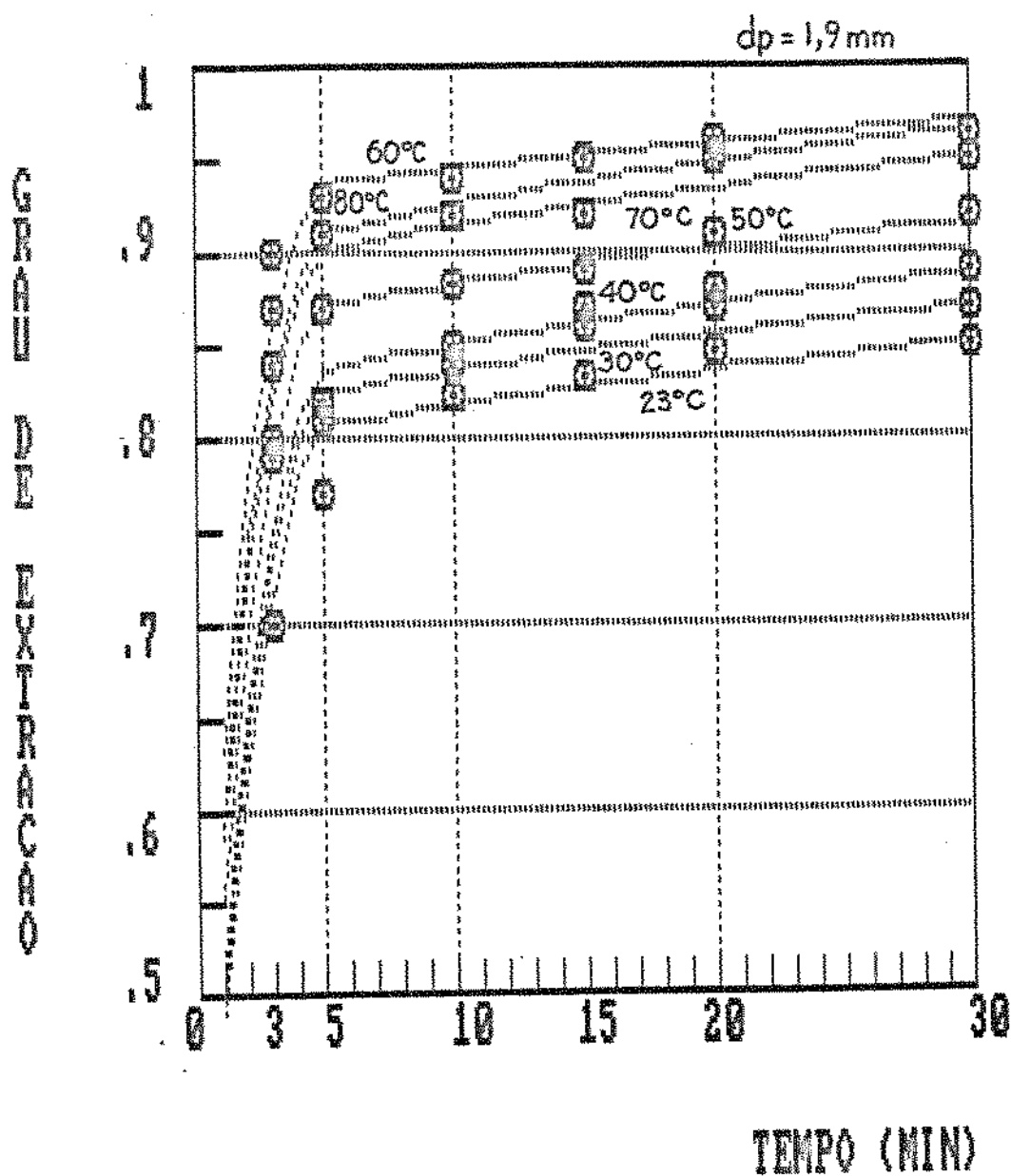


Figura 4.2

Efeito da temperatura do meio no grau de extração (B/B^*) no decorrer da extração em batelada, em leito inundado, dos sólidos solúveis da cana de açúcar para partículas de tamanho médio (1,9 mm).

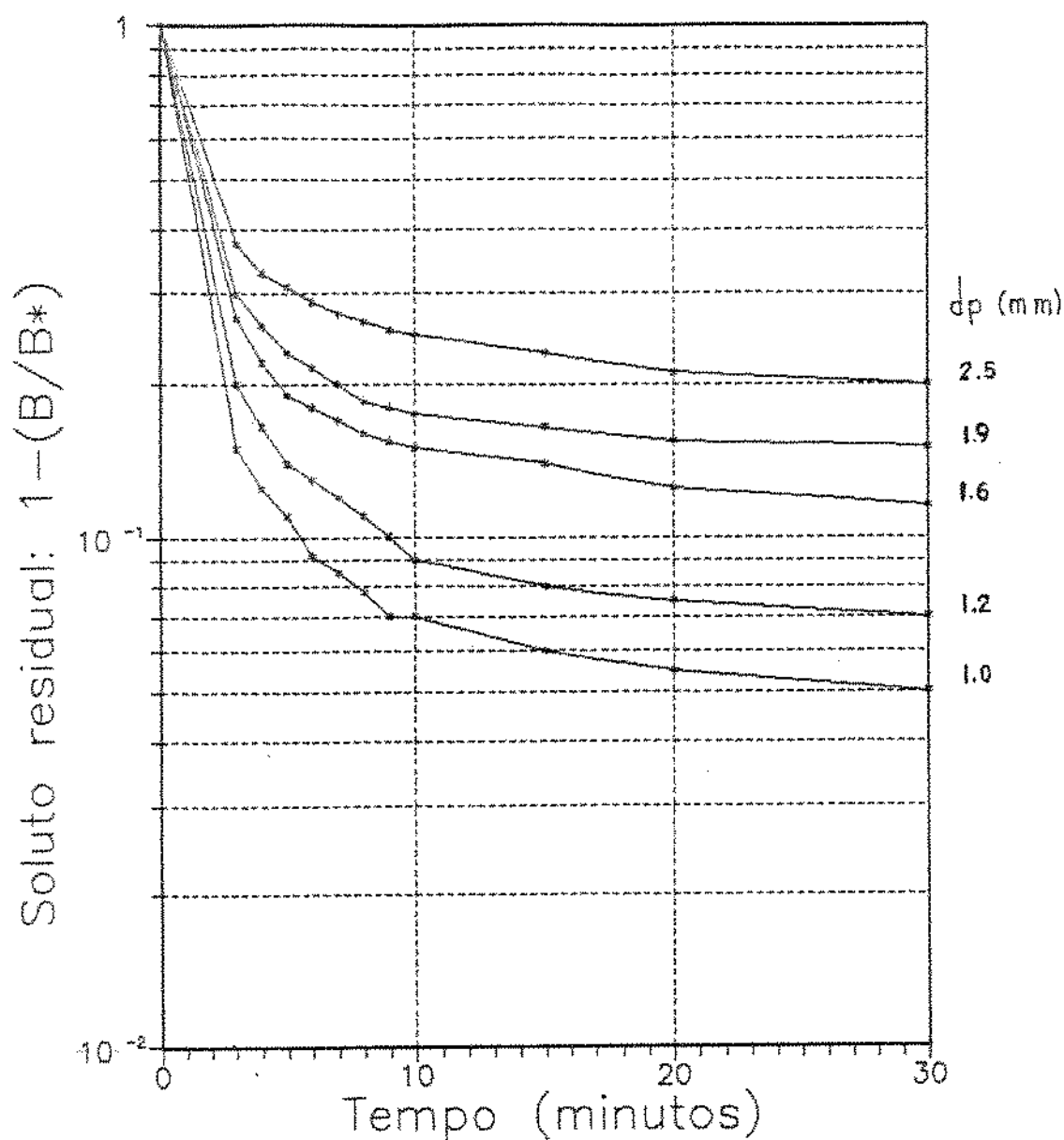


Figura 4.3

Logaritmo natural da relação $[1 - B/B^*]$ versus tempo, na extração do soluto da cana-de-açúcar, para vários tamanhos de partícula, à temperatura ambiente (23°C), em leito inundado pouco agitado.

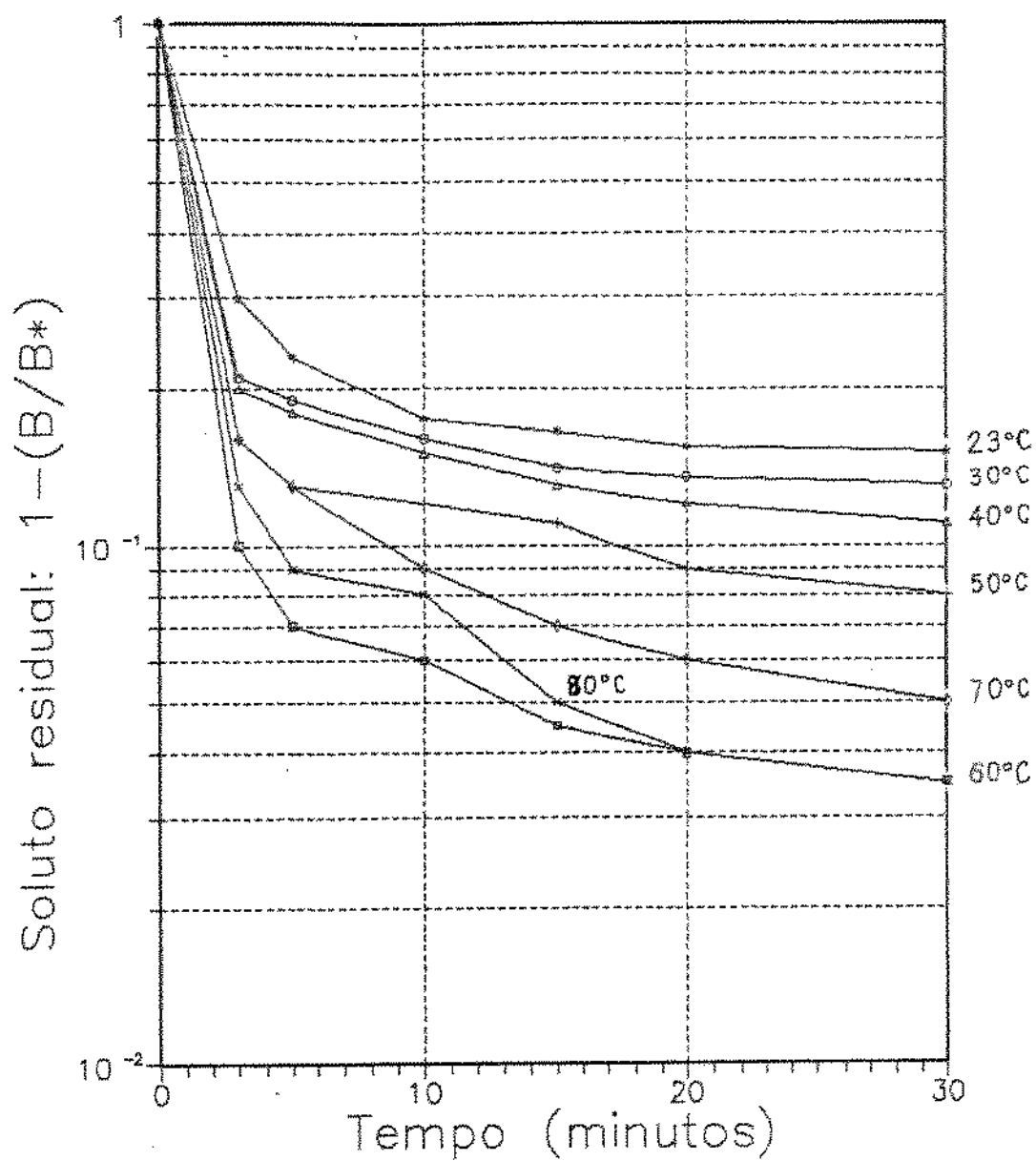


Figura 4.4

Logaritmo natural da relação $[1 - B/B^*]$ versus tempo, na extração do soluto da cana-de-açúcar, para várias temperaturas do meio, usando partículas de tamanho médio (1,9 mm), em leito inundado com pouca agitação.

Grafico-Resumo

(B/B*) versus ϕ, T, t

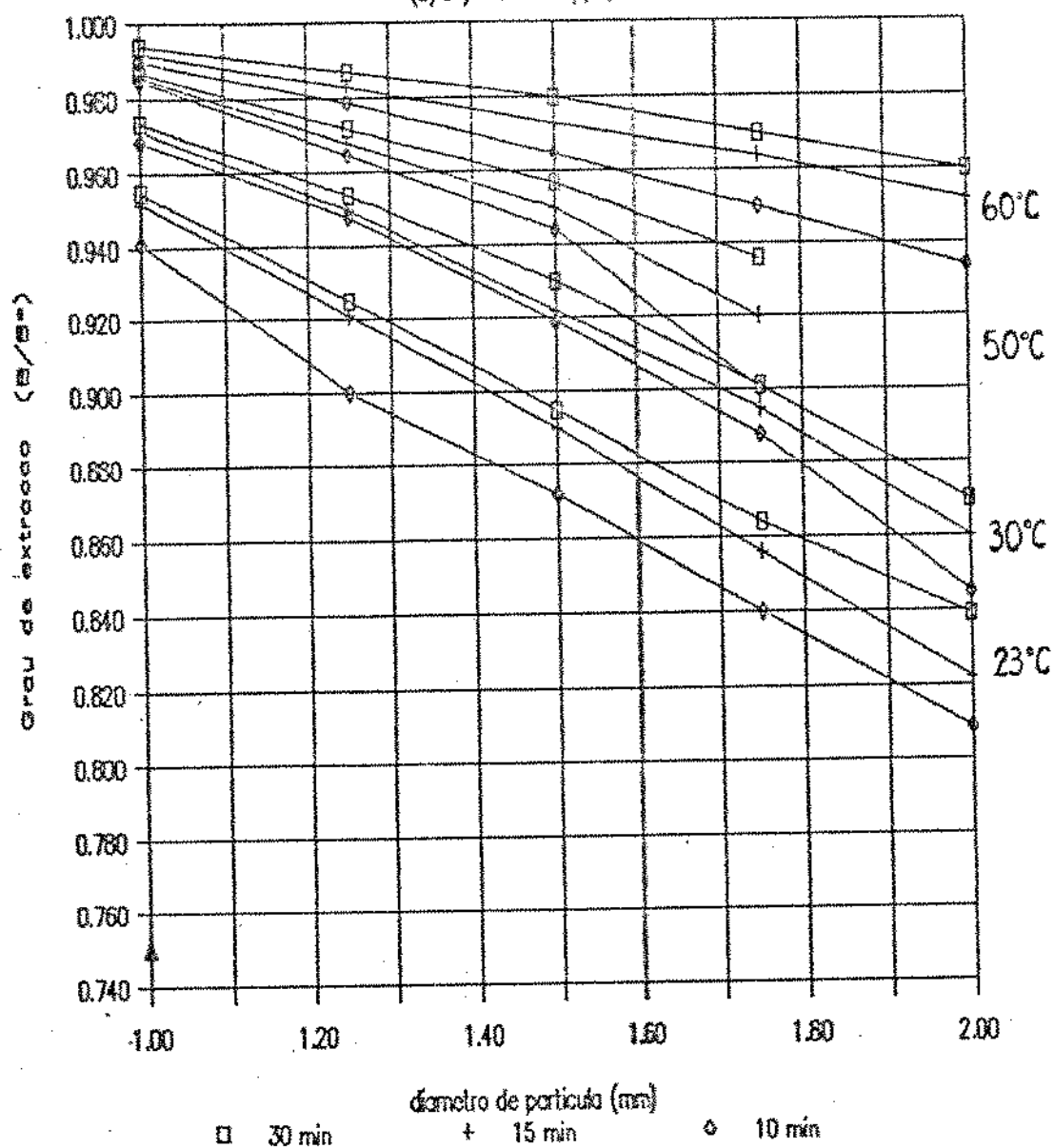


Figura 4.5

Grau de extração (B/B^*) versus tamanho de partícula, para quatro níveis diferentes de tempo de contato, na extração dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar, em batelada e com leito inundado.

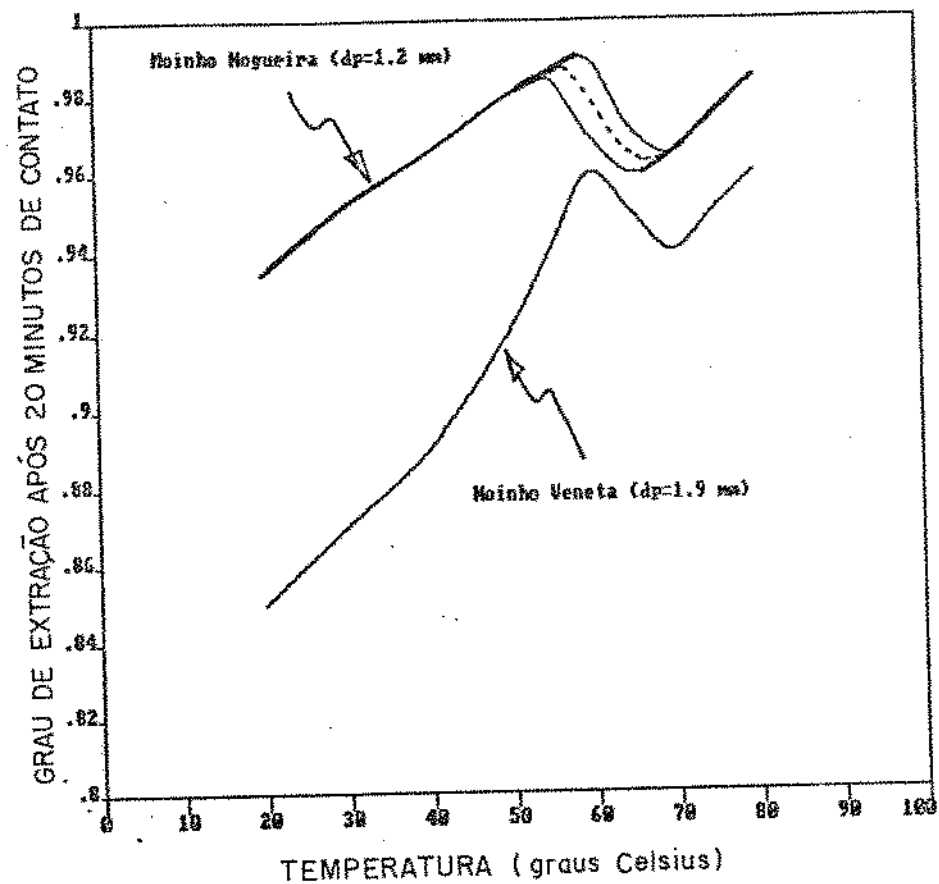


Figura 4.6

Efeito da temperatura do meio e da preparação da cana nos dois trituradores testados no grau de extração (B/B^*) na extração em batelada, em leito inundado, dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar após 20 minutos de contato.

dependente do nível de temperatura, cujos produtos impedem a passagem do soluto do interior para o exterior da partícula. Como se verá posteriormente (figura 4.8) essa alteração física, decorrente de uma reação química, talvez explique o comportamento não usual de outro parâmetro importante do processo de extração: a embebição.

A figura 4.7 mostra o resultado de um experimento que foi desenvolvido para determinar a quantidade de cal necessária para ajustar o pH do caldo de extração de 5,5 (condição natural) até 6,4 (valor de pH necessário para impedir a corrosão ácida da chapa de ferro preto com a qual são construídos os difusores). O experimento também procurou mostrar a influência da adição de cal no grau de extração obtido após 20 minutos de extração, para dois níveis de temperatura, usando um produto preparado no moinho Nogueira.

Na figura 4.8, mostramos os resultados de uma determinação que se realizava após cada experimento de extração: a medição da retenção de caldo no megaço, também denominada embebição (M/C), e sua relação com temperatura e o diâmetro da partícula. Os resultados são diferentes do esperado, pois nos materiais inorgânicos quando se diminui o tamanho médio das partículas aumenta a área exposta para contato com o líquido e o resultado esperado, comumente, é um aumento do volume de líquido aderido, isto é da embebição. Porém não foi o que se determinou experimentalmente, pode ser observado nos resultados práticos que as partículas menores retiveram menos solução-extrato que as maiores, nos três níveis de tamanho pesquisados. Este comportamento estranho pode ser atribuído a dois fenômenos diferentes. Primeiramente, um fenômeno de sorção: as partículas maiores liberaram menos soluto e soluto residual possuiria uma força de atração para moléculas de solvente, que ficariam aderidas à partícula. Isso explicaria a tendência geral, já o pico de retenção poderia ser explicado pelo fenômeno de formação de uma camada de produto de reação química dos componentes da cana a qual impediria a saída de soluto da partícula e havendo mais soluto dentro da partícula a retenção seria maior, pelo menos no intervalo de 55 a 70°C.

A partir do último gráfico e usando os valores médios de composição da cana empregada nas pesquisas elaboramos a figura 4.9 que permite ter uma visão de como varia um parâmetro importante, a fração de fibra no megaço, em relação à temperatura e tamanho de partícula, em extrações em batelada, com leite inundado, após 20 minutos de contato.

Os dados de embebição (M/C) obtidos na pesquisa em batelada, permitiram construir o gráfico da figura 4.10 que contém as curvas

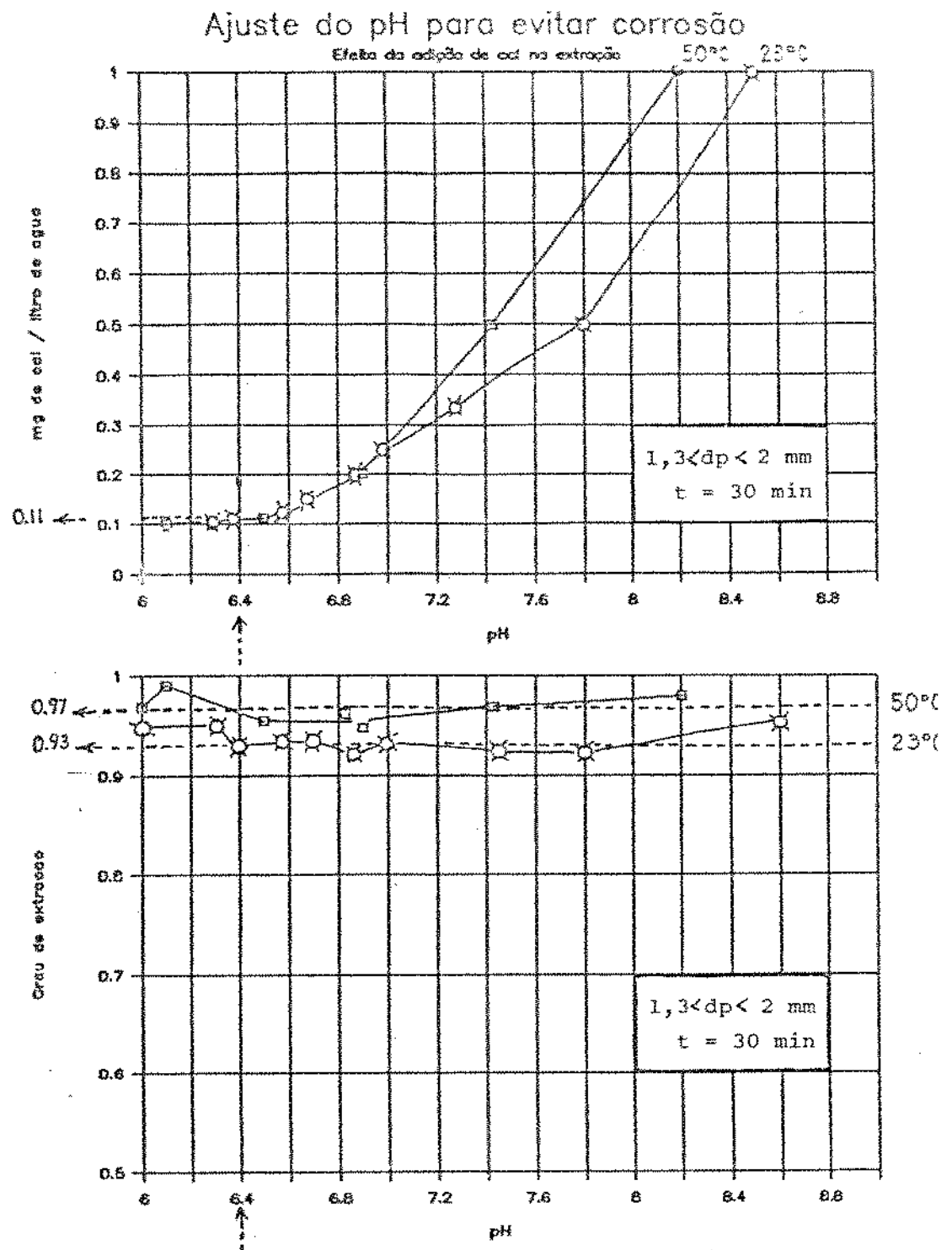


Figura 4.7

Efeito da adição de cal para ajuste de pH, na extração em batelada, em leito inundado, dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar preparada no triturador Nogueira, à dois níveis de temperatura (30 e 50°C).

Gráfico de Embebição

(M/C) versus Temperatura, 3 tamanhos

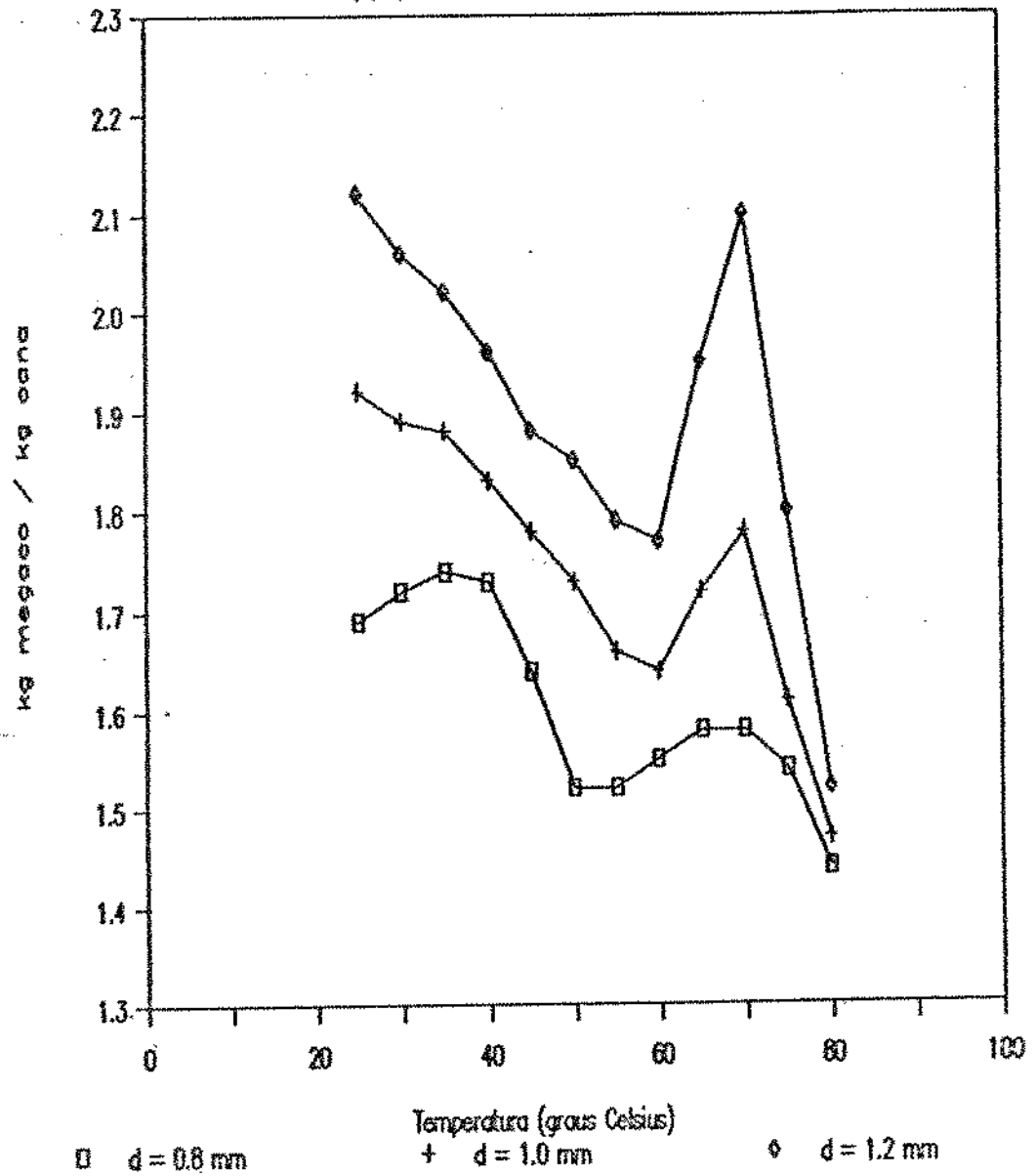


Figura 4.8

Relação de embebição (M/C) em função da temperatura, para partículas de três tamanhos diferentes, após 20 minutos de extração em batelada, em leite inundado com pouca agitação.

Conteúdo de fibra no megaço (20 min)

% fibra versus Temperatura, 3 tamanhos

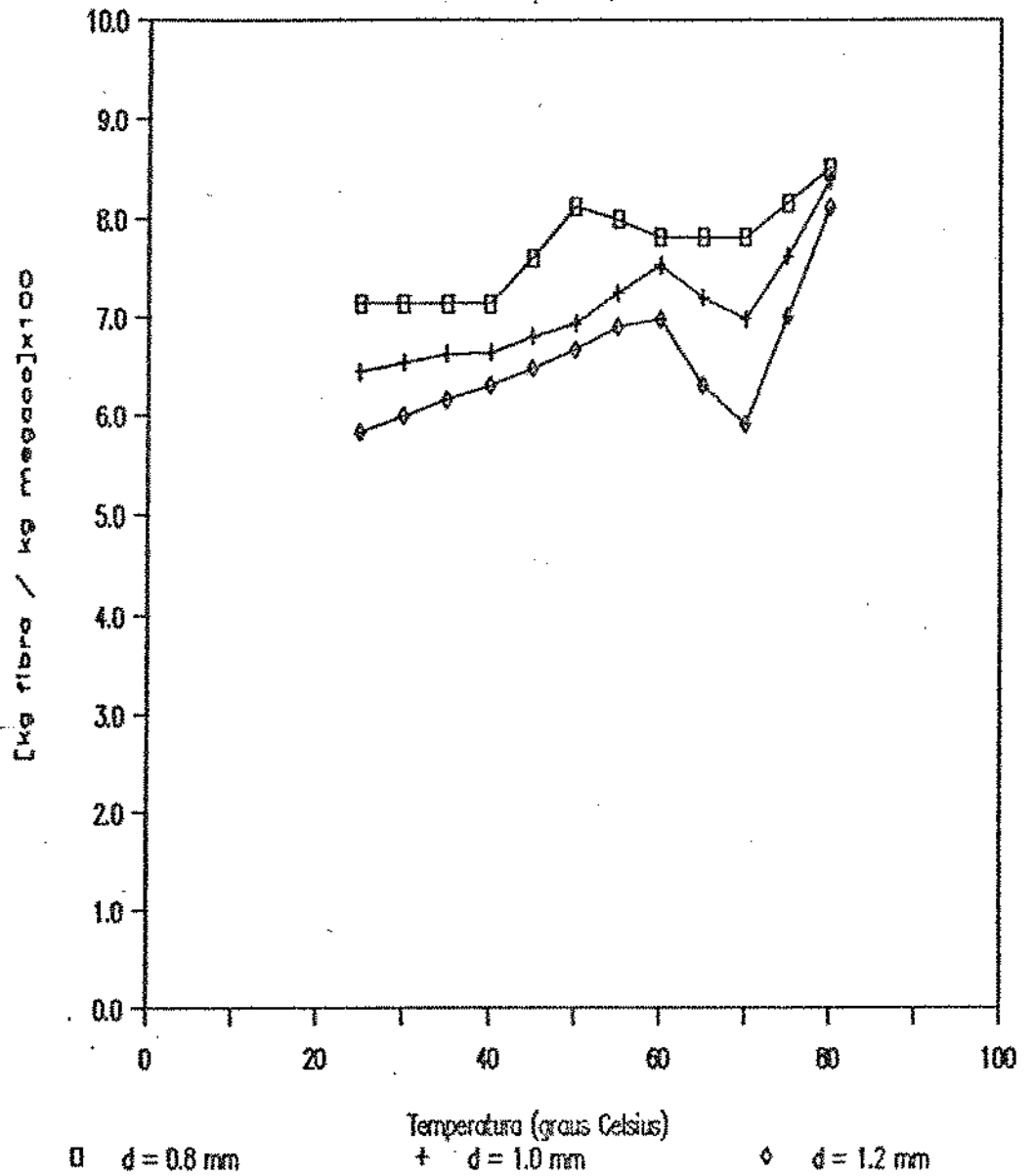


Figura 4.9

Conteúdo de fibra no megaço residual em função da temperatura para partículas de três tamanhos diferentes, após 20 minutos de tempo de contato, na extração dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar, em batelada e com leite inundado.

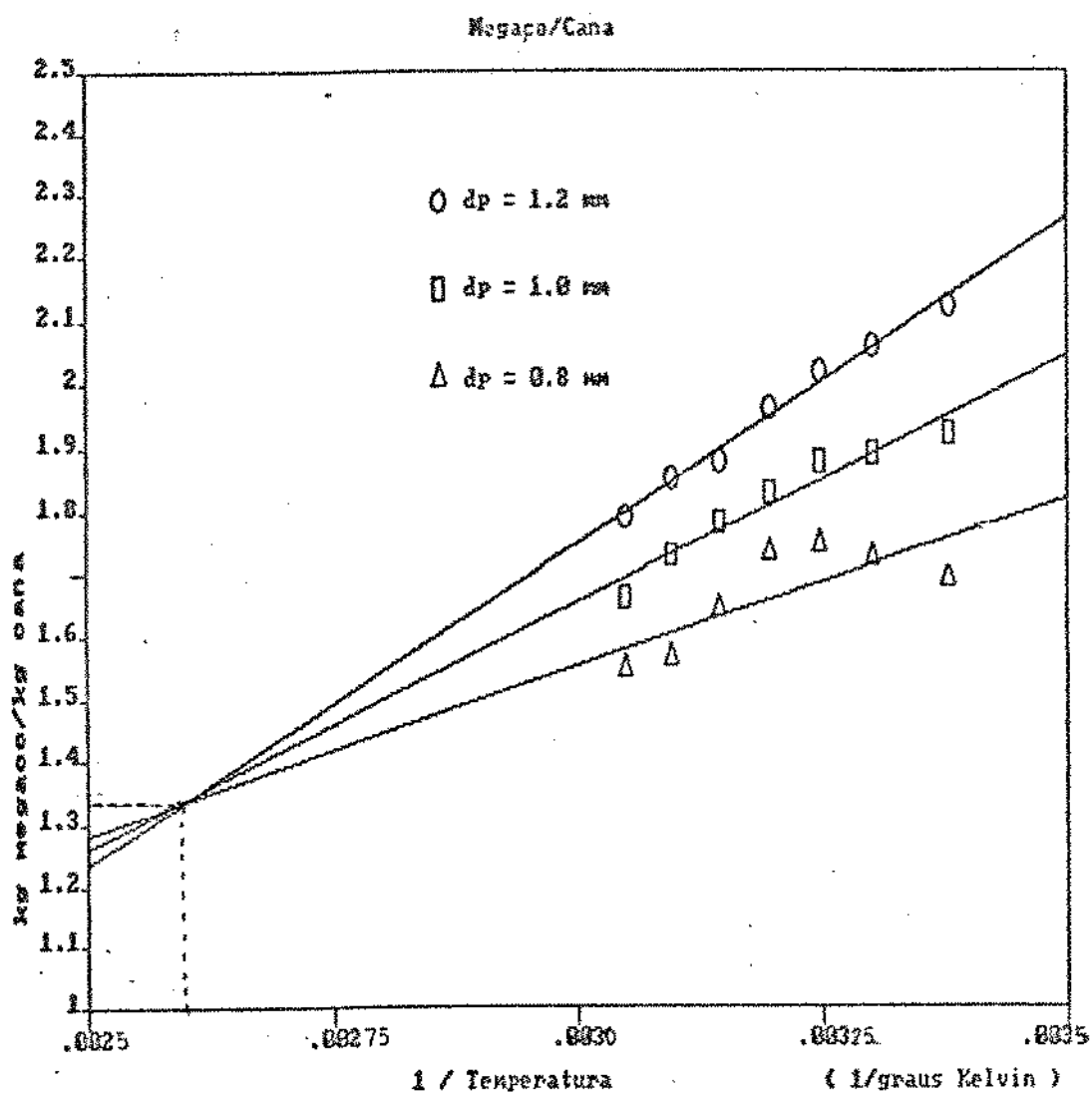


Figura 4.10

Relação de embebição (M/C) versus o valor inverso da temperatura absoluta para partículas de cana de diversos tamanhos, após 20 minutos de extração.

de embebição relativas à diversas condições de temperatura e diâmetro de partícula (recomenda-se que, em futuras pesquisas, a relação megaço/cana seja determinada com produto tirado diretamente do extrator e levar em conta o tempo de contato do sólido com o solvente). Um tratamento matemático simples dessa informação, permite obter equações como a seguinte:

$$\frac{M}{C} = [(1\ 250\ 000\ dp) - 450] \left(\frac{1}{273 + T} \right) - [(3\ 250\ dp) - 2,5]$$

Onde:

$$\frac{M}{C} = \frac{\text{kg de megaço}}{\text{kg de cana}}$$

T = temperatura de extração (°C), validade: 20 < T < 55 °C

dp = diâmetro de partícula (m), validade: 0.0008 < dp < 0.0012 m

4.3 PROPOSTAS PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS:

4.3.1 Equação de Crank (processo seqüencial):

Uma alternativa possível para análise dos resultados da extração em batelada que resulta de uma modificação dos métodos encontrados na literatura seria considerar a difusividade efetiva como sendo diferente nas distintas fases do processo.

Assim, na fase inicial, de lavagem dos tecidos abertos, haveria uma difusividade que poderia denominar-se livre. Na fase final, de extração das células intactas, uma outra que poderia denominar-se difusividade impedida ou amortecida ou de membrana.

Poderíamos aplicar o modelo descrito pela equação (2.33) em dois períodos distintos e seqüenciais, relativos as duas fases do processo de extração, e determinar, com certa facilidade, o valor das difusividades correspondentes.

Primeira etapa: Como foi constatado ocorreria até os quatro primeiros minutos de extração. Admite-se o uso da equação de Crank somente para de fazer uma estimativa do valor de De. Admitimos nesta alternativa que na fase inicial de extração a agitação é intensa e não existiria propriamente uma película externa. Esta fase atingiria praticamente todo o soluto disponível nas células abertas. Para fazer esta estimativa, elaborou-se o programa DIFSVDE1.BAS, que como os demais programas preparados para esta parte da tese foi escrito na linguagem Basic, para ser usado no

interpretador BASICA ou GWBASIC, em qualquer computador compatível com a linha IBM PC-XT.

Segunda etapa: Teria início depois de transcorridos quatro minutos de extração. A extração a ser realizada seria sobre o soluto impedido de escoar livremente, em células fechadas totalmente ou em células abertas de mais difícil acesso. O soluto poderia ser inclusive de qualidade diferente do obtido na primeira etapa, de acordo com Payne [1989].

Aplica-se a equação de Crank (2.33, 2.39) considerando: um novo valor de difusividade, patamares diferentes de tempo (tempo real a partir dos 4 minutos) e de concentração (considerada a partir daquela que foi atingida nos primeiros quatro minutos com a outra difusividade). O processo é lento, a resistência ocorre dentro do sólido e no exterior, o líquido tem condições de homogenizar-se, não havendo lugar para a formação de uma película.

Para o cálculo da difusividade desta segunda fase da extração foi desenvolvido o programa DIFSVDE2.BAS.

Tanto o programa DIFSVDE1.BAS quanto o programa DIFSVDE2.BAS trabalham pelo método de tentativa e erro. O programa inicia-se traçando um gráfico na tela do monitor de vídeo do computador no qual são colocados automaticamente os pontos experimentais, depois disso coloca-se na tela os parâmetros usados: difusividade efetiva, raio, tempos considerados, valor inicial de concentração e solicita a introdução de novos parâmetros após o qual o programa plota a curva de extração (equação 2.33) relativa aos parâmetros escolhidos. O trabalho de ajuste consiste praticamente em mudar os valores de D_e até que a curva passe pela maior parte dos pontos experimentais.

Os programas com a equação de Crank são um pouco mais simples e são executados mais rapidamente que aqueles que usam outros modelos.

4.3.2. Equação de Soddu e Gioia:

Repetimos o método de análise de Soddu e Gioia [1979], o que nos levou a desenvolver quatro novos programas: THETA.BAS, BETA.BAS, BIBETEMP.BAS e BIBERAI0.BAS.

Usou-se o método de cálculo numérico das diferenças finitas, especificamente a técnica de Crank-Nicholson (Carnahan et alii, 1975) para conhecer o perfil de concentração na partícula, a concentração média e o rendimento de extração em intervalo de tempo adimensionalizados (número de Fick) ou reais (supondo valores de D_e e raio). O uso destes programas é cansativo pela demora em obter resultados, e o ajuste obtido não é melhor que o

procedimento simples que usa a equação de Crank em etapas sequenciais. Porém o uso destes programas nos mostrou que o número de Biot estava na faixa de 0,3 a 0,5 e que conseqüentemente o processo não poderia considerar-se de agitação perfeita. O número de Biot encontrado indica uma agitação intermediária e a existência de uma película na fase líquida.

Estes programas mostram que o ajuste da fase seguinte a difusão livre, usando um coeficiente de sorção resultava em um comportamento linear para a curva de extração e não representava corretamente o evento observado experimentalmente.

Os programas também evidenciaram a existência de dois processos com difusividades muito diferentes entre si.

4.3.3 Modelo misto Newman-Crank (processo seqüencial):

Finalmente, poderíamos empregar o modelo desenvolvido por Newman [1931], que considera a extração em um sistema que não está perfeitamente agitado.

A equação de Newman para o cálculo do rendimento de extração (2.43), pode numa primeira tentativa de solução empregar os valores de difusividade calculados via equação de Crank (2.39), conforme visto anteriormente.

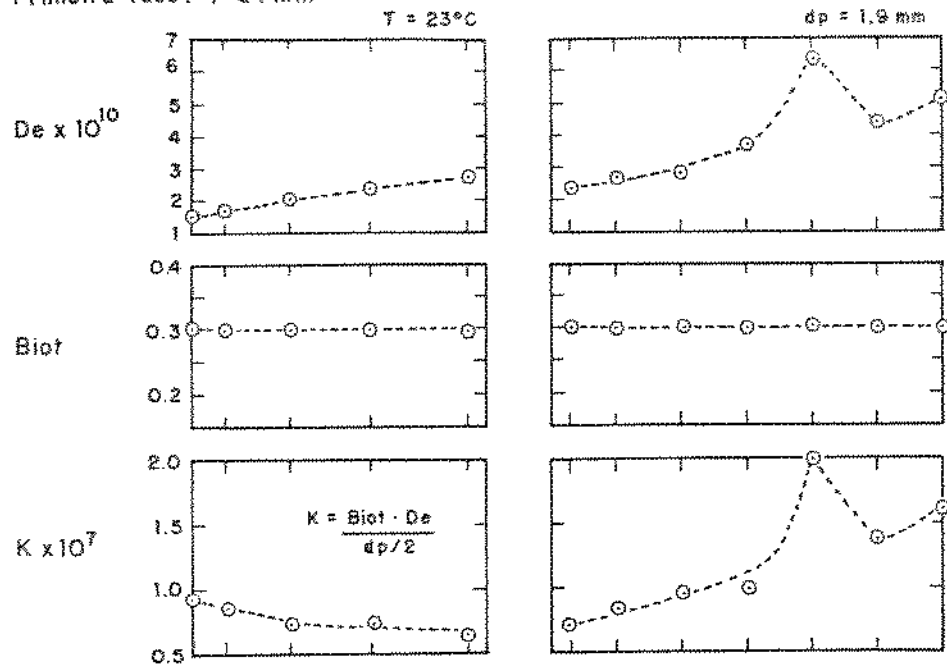
O ajuste de dados de que ela é capaz seria feito a partir destes valores iniciais de difusividade até obter os valores corretos e o número de Biot relativo ao processo estudado.

Este procedimento será conveniente para a fase inicial do processo, quando tanto a resistência externa quanto a interna têm um papel importante na extração do soluto.

Porém na fase final quando a resistência ocorre no meio interno, a equação a utilizar deverá ser a de Crank (2.39), levando-se em conta que no final da lavagem de células abertas se obtém um perfil uniforme de concentração dentro da partícula e que existirá a uniformização da concentração na solução externa, desaparecendo a película. O tempo que delimita ambos processos pode ser determinado ao se fazer o ajuste de dados.

Foram desenvolvidos para esta análise os seguintes programas em linguagem BASIC: NEWMAN1.BAS, NEWRAIO.BAS, NEWTEMP.BAS e para apresentar os resultados facilmente GRAFRAIO.BAS, GRAFTEMP.BAS e SHOWTELA.BAS.

Primeira fase: $t < 4$ min



Segunda fase: $t > 4$ min

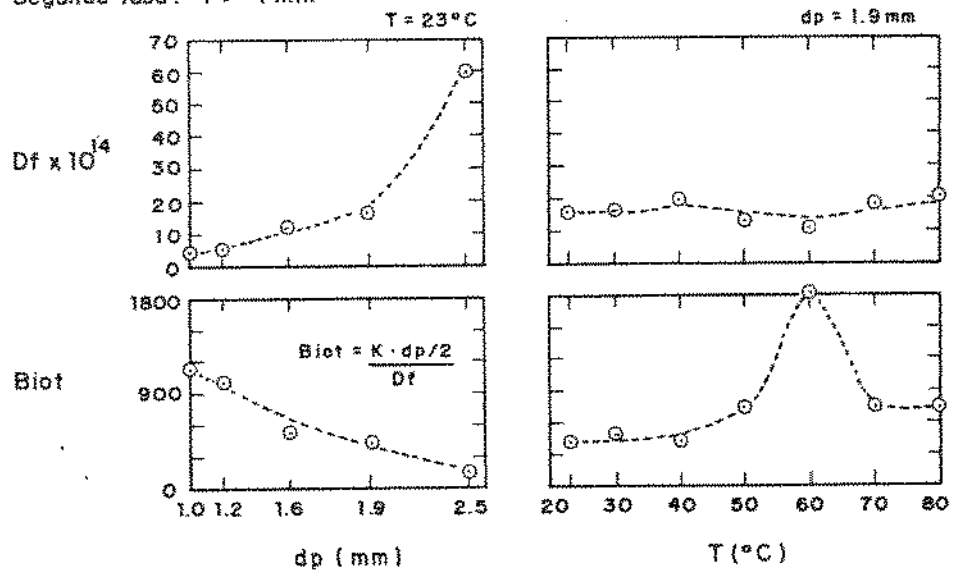


Figura 4.1:

Efeito da variação do tamanho de partícula e da temperatura do meio nos valores dos parâmetros de transferência de massa na extração em batelada, em leite inundado, dos sólidos solúveis da cana, considerando uma etapa inicial (até 4 minutos) e uma etapa final (após 4 minutos).

4.3.4. Equação empírica:

Procurou-se obter os valores da expressão (2.46) para a fase final do processo (tempo de contato entre 5 e 30 minutos):

$$\frac{B}{B^*} = 1 - \exp \left\{ \left[f(T) \right] \frac{a}{dp} \frac{b}{t} \right\} \quad t_i < t < t_f$$

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS:

Com ajuda dos programas de computação, citados no item anterior, cujas listagens aparecem no item 8.1, foram obtidos os parâmetros que permitem caracterizar a extração de cana-de-açúcar em batelada.

Os resultados são mostrados na figura 4.11 e se referem a duas fases sequenciais delimitadas pelo tempo de quatro minutos.

4.4.1 Parâmetros da fase inicial:

Difusividade efetiva:

Varia levemente com o raio, confirmando as observações de Cussler [1984] sobre o trabalho de Brüniche-Olsen [1962], no sentido de que é possível uma influência positiva da presença de feixes de vasos capilares na difusividade, cujo efeito é mais notável quando o tamanho da partícula aumenta.

Como era de se esperar a difusividade aumenta com a temperatura no intervalo de 23 até 55°C, porém acima deste valor de temperatura a difusividade efetiva diminui e se recupera um pouco quando o aquecimento atinge os 80°C. A queda no valor de difusividade efetiva é devida, provavelmente, a um fenômeno de pectinização que ocorre quando a temperatura está entre 50 e 60°C, conforme Park et alii [1985].

Número de Biot:

O valor obtido para o número de Biot foi de 0,295 aproximadamente, com uma variação mínima em relação ao raio e à temperatura. O valor obtido situa o processo estudado dentro da faixa de Biot, que vai de 0,1 até 40, na qual considera-se que a extração é sensível tanto à resistência interna quanto à externa, de acordo com Heldman e Singh [1981].

Coeficiente de transferência de massa convectivo:

O coeficiente de transferência de massa convectivo praticamente não varia com o raio, apenas nota-se um leve decréscimo quando o raio aumenta. Varia bastante com a temperatura, acompanhando a variação da difusividade efetiva.

4.4.2 Parâmetros da fase final:

Difusividade efetiva:

Os valores da difusividade efetiva na fase final são muito menores que seus correspondentes na fase inicial. O fator de proporcionalidade está em torno de mil, bastante significativo em termos de difusividade.

A difusividade da fase final mostrou um crescimento leve com o aumento do raio até certo nível (0,00095 m), depois disso um grande aumento, talvez devido a influência de vasos condutores de seiva.

A difusividade efetiva da fase final não variou com a temperatura, o que significa que o fenômeno de pectinização somente afeta a fase inicial de extração e que as paredes das células pequenas intactas não são afetadas pela temperatura, no intervalo de temperatura e tempo estudado.

Número de Biot:

Considerando-se que o coeficiente de transferência de massa convectivo não muda com a fase de extração, o número de Biot pode ser calculado através da equação (2.41), sendo a difusividade efetiva aquela da fase final, de pequena magnitude.

Os valores altos do número de Biot indica que o processo difusional estabelece a velocidade de extração na etapa final, isto justifica o uso da equação de Crank.

4.4.3. Equação empírica:

Para a equação (2.46) obtivemos a seguinte expressão:

$$\frac{B}{B^*} = 1 - \exp \left\{ \left[-0.00265 - 0.00054(TD) \right] dp \quad \begin{matrix} -0.838 & 0.126 \\ t & \end{matrix} \right\}$$

É válida apenas para o sistema usado na pesquisa em batelada:

Temperatura: 20-50°C

Diâmetro de partícula: 0,0008-0,0022 m

Intervalo de tempo: entre 300 e 1800 segundos

Relação Solvente/cana: 0,600 kg/0,150 kg (leito inundado)

Agitação: moderada e intermitente

4.5 CONCLUSÕES DO ESTUDO DE EXTRAÇÃO EM BATELADA

Convém triturar bastante, para aumentar o grau de extração e diminuir o tempo de extração, quando deseja-se trabalhar a temperatura ambiente. Convém aumentar a temperatura de extração para conseguir um maior rendimento, quando se trabalha com partículas de tamanho considerado médio (1,9 mm).

O tempo de extração pode ser pequeno, até de 8 minutos aproximadamente se a trituração for bem feita.

A influência da temperatura é menor que a da trituração e é sentida somente no processo de extração inicial, no entanto parece não ser aconselhável aquecer além dos 55 graus centígrados, para evitar o efeito de obstrução dos poros por pectinização do amido da cana. Porém, caso haja problemas de contaminação com microrganismos termófilos, o aquecimento pode ir além desse patamar (até 80°C).

O efeito da movimentação intensa somente será notado nos primeiros 4 minutos. E, conseqüentemente, não haverá necessidade de agitação no restante do processo.

A adição de cal para ajuste de pH praticamente não alterou o rendimento de extração. Assim sendo, os resultados obtidos na pesquisa poderão ser empregados para o dimensionamento de difusores de cana-de-açúcar que utilizem cal para controlar o ataque químico do caldo ácido as chapas de ferro preto com que costumam ser construídos.

A maior embebição foi observada nas partículas de maior diâmetro, esperava-se o comportamento oposto. Uma explicação possível é que as partículas de maior diâmetro possuem mais soluto residual e que este soluto atrairia moléculas de água.

O modelo mais apropriado para descrever o processo, se consideramos que no começo a extração teve mais agitação que no restante do processo, foi aquele que permitiu combinar a equação de Crank para a etapa inicial (até quatro minutos) e, também a equação de Crank para a etapa posterior e final. Esse modelo também foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais

Porém o resultado obtido usando a equação de Newman na primeira fase, não foi muito diferente, tanto é que praticamente não alteramos os valores de difusividade efetiva encontrados usando a equação de Crank.

Consideramos que ambos dão soluções aproximadas, pois o caso sob estudo se situa entre ambos modelos. Na ausência do modelo totalmente ajustado ao caso (volume finito, agitação não intensa), podemos aproveitar os modelos próximos, como foi feito. Em vista destas considerações resulta interessante observar que os resultados da difusividade efetiva para a fase inicial e para a fase final obtidos usando os modelos de Crank e Newman são os mesmos. Talvez o modelo preciso, que deve ser procurado em futuras pesquisas, confirme os resultados até agora obtidos. Em todo caso, os valores dos parâmetros conseguidos podem ajudar a visualizar a influência relativa de cada um deles na extração em batelada de cana-de-açúcar.

A proposta de Soddu e Gioia levava a curva de ajuste com mudanças abruptas de comportamento que não representavam corretamente o evento ocorrido.

A equação empírica representa razoavelmente bem os resultados experimentais e poderia ser utilizada para cálculos rápidos e aproximados do grau de extração obtido no processo em batelada, dentro de programas de cálculo de difusores na etapa de previsão da composição do resíduo.

5. EXTRACAO CONTINUA:

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS:

Para análise da operação em contínuo decidimos usar o método do diagrama triangular porque é um método de cálculo bastante conhecido e usado. Sua simplicidade permite uma visualização do fenômeno que ocorre dentro do difusor e o estabelecimento de uma sequência de rotinas de cálculo o que favorece a elaboração de um programa de cálculo por computador. Este método seria testado para confirmar se representa fielmente o processo real que se estabelece no difusor de planta piloto.

O método do diagrama triangular tem várias opções de representação e de cálculo das composições (e do número) dos estágios de um extrator sólido-líquido. Em todas as opções existentes do método deve fazer-se, como primeira tarefa, a determinação (e a colocação no diagrama triangular respectivo) dos pontos relativos às correntes de entrada e saída do difusor.

5.2 OS PONTOS RELATIVOS AOS INSUMOS E AOS PRODUTOS:

Matéria prima:

A cana de açúcar (C), para fins de cálculo da extração sólido-líquido, pode ser considerada composta apenas por 3 substâncias:

soluto (s)... açúcares solúveis,

água (a)... a cana tem um alto teor de umidade,

fibra (f)... constituída principalmente por celulose insolúvel.

A cana para ser colhida precisa ter, no mínimo, um Brix de 16, sendo que é possível obter na época de pico da colheita canas com níveis de 23 até 26 graus Brix. A umidade da cana varia, na época de colheita, entre 65 e 70%.

Aplicando as fórmulas (3.6, 3.7 e 3.9) para os valores, mais comumente encontrados na pesquisa, de Brix da cana (BC) e de umidade da cana (UC) podemos obter os intervalos possíveis para as frações mássicas dos componentes da cana :

$$0,14 < X_{s,C} < 0,20 \quad \dots \text{ kg soluto/ kg cana}$$

$$0,65 < X_{a,C} < 0,70 \quad \dots \text{ kg água/ kg cana}$$

$$0,10 < X_{f,C} < 0,20 \quad \dots \text{ kg fibra/ kg cana.}$$

Solvente:

Na pesquisa usamos sempre água comum ("pura"), como solvente (A), na extração dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar, por tanto as frações mássicas no solvente são:

$$Y_{a,A} = 1,00$$

$$Y_{s,A} = 0$$

$$Y_{f,A} = 0$$

Extrato final:

O extrato final (E) precisa ter no mínimo 12% de soluto para poder ser fermentado diretamente, sem necessidade de concentração em evaporadores. Nas experiências realizadas no extrator de planta piloto, a diferença entre o Brix do caldo da cana e o Brix do extrato final variou entre 3 e 6, podendo-se tomar os valores compreendidos entre 4 e 5 como os mais representativos dessa diferença.

Como $Y_{s,E}$ corresponde à [Brix/100], na saída do extrator teríamos:

$$0,12 \leq Y_{s,E} < 0,18$$

Como o sistema de separação entre o sólido e líquido na primeira tina do extrator não permite a saída de material sólido no extrato final, este será constituído por água e soluto somente:

$$Y_{a,E} = 1 - Y_{s,E} \quad (5.1)$$

No caso, bastante freqüente, de extratos finais com uma concentração acima de 14 ou 15 Brix, teria que se adicionar água aos caldos para poder envia-los às dornas de fermentação.

Como foi dito anteriormente, o Brix do caldo da cana varia entre 16 e 23 ao longo da colheita. Na pesquisa de planta piloto observou-se uma tendência de o Brix do extrato final variar em função direta do Brix da cana. Uma análise dos resultados obtidos em várias experiências de extração contínua (ver figura 5.1) permitiu sugerir a seguinte equação empírica para estimar a fração mássica do soluto no extrato final, nas condições de trabalho consideradas normais (uma relação Água/Cana próxima de 2, cana triturada no moinho Nogueira, difusor de nove estágios com inclinação de 5°, extração à temperatura ambiente, etc.):

$$Y_{s,E} = (0,735 \times BC) / 100 \quad (5.2)$$

Esta equação empírica serve apenas para propor um valor do Brix do extrato final no início do cálculo do número de estágios do difusor, valor que pode ser aceito ou não.

Quando se escolhe o valor de $Y_{s,E}$; a outra fração mássica que

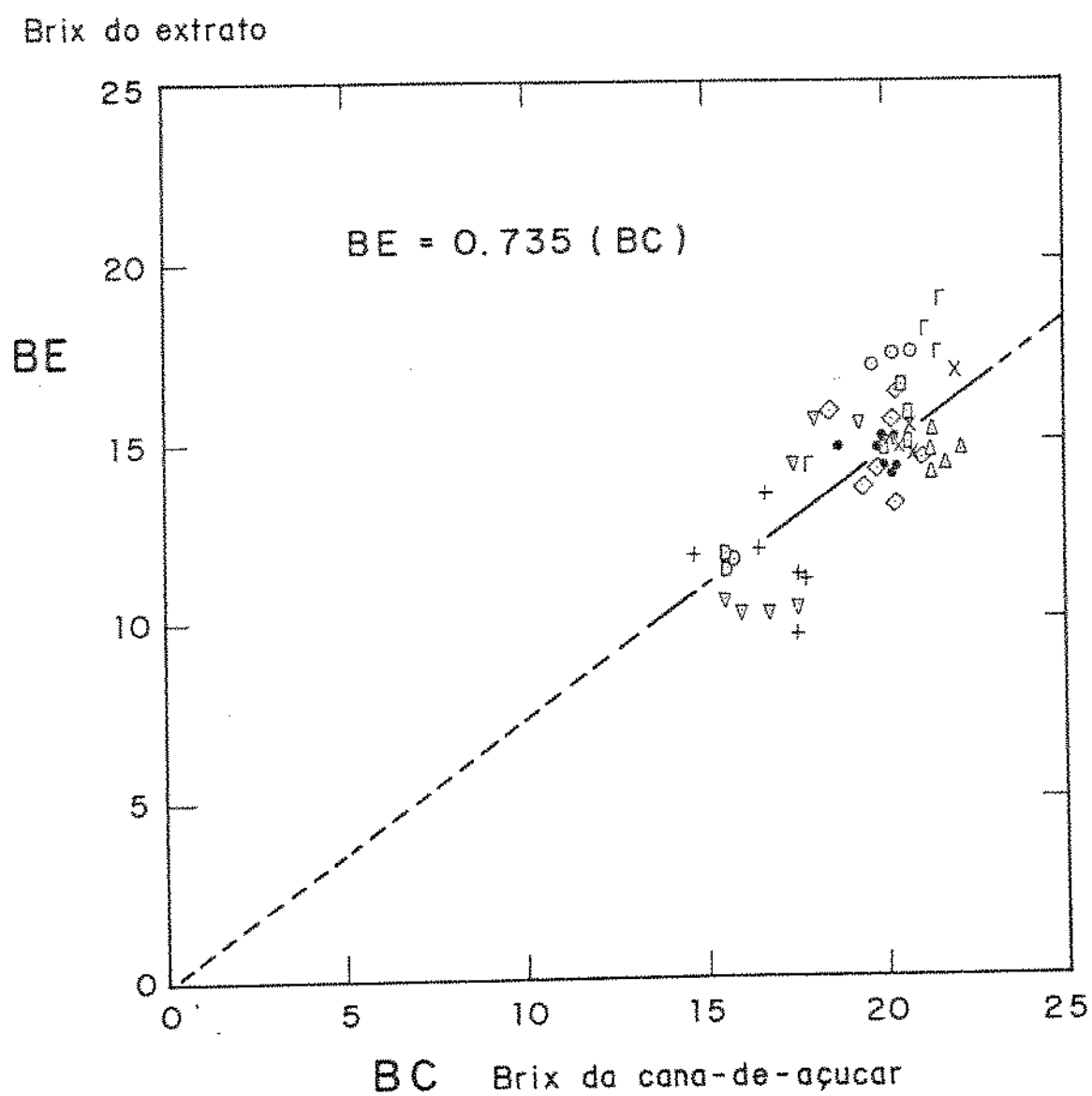


Figura 5.1 Variação do Brix do extrato em relação ao Brix da cana de açúcar, no difusor trabalhando a temperatura ambiente.

completa a definição do ponto do extrato final, (Y_a, E) , é automaticamente fixada, conforme a equação (5.1).

Resíduo sólido:

A composição do megaço pode ser estimada levando-se em conta que:

O megaço final teria que localizar-se na curva de sólidos drenados.

A quantidade de soluto do megaço é determinada pelo grau de extração que se deseja fazer do açúcar da cana.

Portanto, para poder calcular a composição do megaço é preciso antes averiguar, mediante pesquisa de laboratório, as correlações relativas à curva de sólidos drenados e ao grau de extração, em termos das variáveis mais importantes para o processo de extração sólido-líquido.

Curva dos sólidos drenados:

A curva dos sólidos drenados obtem-se com os valores de composição dos sólidos que saem nos diversos estágios, após o processo de contato da solução-solvente com o sólido rico em soluto e depois da drenagem da solução-extrato da matriz sólida. Esta curva é uma função de:

- a temperatura (T) na qual ocorre o processo de extração;
- o grau de trituração obtido na preparação da cana, que se manifesta tecnicamente como diâmetro médio de partícula (dp);
- o tempo de contato sólido-líquido (t) que ocorre até atingir um certo nível de concentração;
- o tipo de drenagem (e até de compressão) a que é submetido o material que sai das tinas ou estágios do processo;
- a variedade de cana utilizada.

Na pesquisa à nível de bancada de laboratório, procurou-se ajustar as condições experimentais, de maneira a fazer com que ficassem próximas das condições reais de operação do extrator de planta piloto. Considerando que o tempo de contato sólido-líquido, o tipo de drenagem e a variedade da cana utilizados no laboratório e no extrator piloto eram iguais, propusemos a seguinte relação para a curva de sólidos drenados:

$$X_{f,m} = F(T, dp) \quad (5.3)$$

Como os caldos de extração não contêm fibra, do balanço de massa global temos:

$$\text{Fibra do megaço} = (M) (X_{f,M}) = \text{Fibra da cana} = (C) (X_{f,C})$$

$$X_{f,m} = \frac{X_{f,C}}{(M/C)} \quad (5.4)$$

Analisando os termos da expressão anterior podemos ver que $X_{f,C}$ é um valor que pode ser determinado a partir de um análise simples da matéria prima:

$$X_{f,C} = 1 - UC [1 + (BC / (100 - BC))] \quad (3.10)$$

E, como (M/C) é um parâmetro fácil de medir no laboratório, podemos pesquisar a relação:

$$(M/C) = FC(T, dp) \quad (5.5)$$

E usar essa relação experimental para estimar o valor da concentração de fibra dos megaços em processo (equação 5.4).

Grau de extração:

A outra correlação que interessa explicitar para poder calcular o ponto do resíduo é a relativa ao grau de extração (B/B^*) , que também depende das variáveis já mencionadas, neste caso, devemos explicitar a variável tempo, logo:

$$(B/B^*) = FC(T, dp, t) \quad (5.6)$$

Os resultados obtidos no laboratório indicaram para esta relação, no processo em batelada, um comportamento de tipo exponencial com duas etapas sucessivas distintas.

Fórmulas para cálculo da composição do resíduo final:

As fórmulas para determinar a composição do resíduo sólido que se deseja obter, provém da definição de rendimento na extração contínua em contracorrente (H) e do balanço de massa:

$$H = \frac{\text{solute extraído}}{\text{solute inicial}} = \frac{\text{solute inicial} - \text{solute residual}}{\text{solute inicial}} = 1 - \frac{\text{solute residual}}{\text{solute inicial}}$$

$$\text{Solute inicial} = (\text{kg cana})(\text{fração mássica de soluto na cana}) = C X_{s,C}$$

$$\text{Solute residual} = (\text{kg de megaço})(\text{fração de soluto no megaço}) = M X_{s,M}$$

Assim sendo:

$$H = 1 - \frac{M X_{s,M}}{C X_{s,C}}$$

A fração mássica de soluto no resíduo fica então como:

$$X_{s,M} = \frac{(1 - H) X_{s,C}}{(M/C)} \quad (5.7)$$

Usa-se na fórmula (5.7) o valor da eficiência esperada no sistema de extração contínua em contracorrente (H). Para estimar esse parâmetro a partir dos resultados da pesquisa em batelada (grau de extração, B/B^*), usamos um fator de ajuste (F), cujo valor foi determinado pelo método de tentativa e erro e que sempre resultou em valores menores que a unidade:

$$H = F \cdot (B/B^*) \quad (5.8)$$

F = fator de ajuste dos dados de planta piloto (extração contínua em contracorrente) com os dados de laboratório (batelada).

A pesquisa no laboratório sobre curva de sólidos drenados indicou que após certo tempo de contato a fração mássica de fibra no megaço era constante:

$$X_{f,m} = \text{constante (para tempos de contato grandes)}$$

Podemos considerar que o megaço final atinge essa situação:

$$X_{f,M} \cong X_{f,m}$$

Como a fibra ficava na prática somente nos sólidos em processo, pode-se usar a equação (5.4) para calcular a fração mássica de fibra no resíduo:

$$X_{f,M} = \frac{1 - UC \{ 1 + [(BC/100) - BC] \}}{(M/C)_{\text{experimental}} f(T,dp)} \quad (5.9)$$

Finalmente, a fração mássica de água no resíduo se calcula a partir das frações mássicas já conhecidas:

$$X_{a,M} = 1 - X_{s,M} - X_{f,M} \quad (5.10)$$

5.3 CÁLCULO DOS ESTÁGIOS NA EXTRAÇÃO CONTÍNUA:

Conhecidas as composições dos insumos e dos produtos do processo, da forma proposta no item anterior, pode-se partir para o cálculo de cada um dos estágios do equipamento e, também, ao cálculo das relações mássicas que se estabelecem entre o material sólido e o material líquido no processo.

O método de cálculo do diagrama triangular, como já foi mencionado no item 2.4.1, é descrito em vários livros de engenharia química e de engenharia de alimentos. Existem alguns trabalhos sobre procedimentos para facilitar o cálculo de extratores sólido-líquido usando computadores [Koenig, 1969; Soylemez e Seider, 1973], no entanto estes pesquisadores faziam algumas considerações diferentes às do método do diagrama triangular.

Decidimos então esquematizar a sequência tradicional de cálculo do diagrama triangular e elaborar um programa em linguagem Basic para simular a extração sólido-líquido com procedimentos que permitissem a representação gráfica do cálculo.

O diagrama triangular é, afinal, um método no qual os cálculos dos estágios são substituídos por traços geométricos, para facilitar um cálculo numérico, demorado e repetitivo, com muitas possibilidades de erro quando feito manualmente. O programa de simulação desenvolvido seria um cálculo numérico, em princípio exato, que depois de calcular os estágios buscaria os resultados intermédios para traçar o diagrama, somente para fins de comparação com o método gráfico.

No item 8.2 esta descrito de forma detalhada o procedimento de cálculo dos estágios.

No item 8.3 apresentamos as listagens dos programas desenvolvidos para calcular os estágios do difusor, assumindo comportamento linear da curva de sólidos drenados (8.3.1) ou não (8.3.2).

No item 8.4 apresentamos um pacote didático que elaboramos para auxiliar o ensino de extração sólido-líquido à nível de graduação usando o método do diagrama triangular. O pacote estaria contido em dois disquetes para serem usados em computador tipo IBM PCXT com dois "drivers" e possui características de autoexecução.

5.4 RESULTADOS:

No início da pesquisa com extrator contínuo fizeram-se ensaios para averiguar qual poderia ser o perfil de concentração dos líquidos nos estágios quando o sistema estivesse em regime. Alimentou-se o extrator com água e foi-se introduzindo a cana, de maneira a ir elevando gradativamente o perfil.

Ao atingir um perfil razoável, diminuimos a vazão de água para incrementar mais ainda as concentrações nas tinas.

Descobrimos que podíamos seguir o caminho inverso: tendo um perfil de concentrações altas, a redução dos níveis de açúcar nas tinas era conseguido aumentando-se a vazão de água.

Sendo assim, ficava sob nosso domínio a escolha e a manutenção do perfil de concentrações que mais conviesse. As figuras 5.2 e 5.3 ilustram estas idéias, são os resultados das primeiras experiências realizadas, trabalhando com cana triturada no moinho Veneta e com água a temperatura ambiente.

Achamos que o perfil que se estabelecia tendo como valor maior 14,65 Brix na tina 1 e como valor menor 0,8 Brix na tina 9 era um dos mais estáveis e o consideramos adequado como referência, pois um caldo de 0,8 Brix implicava em um megaço com uma boa extração (85 %, aproximadamente), e um extrato final de 14,65 Brix poderia ir ao processo de fermentação diretamente, sem necessidade de concentração ou diluição.

Fizemos várias experiências de extração contínua nas quais procuramos atingir o perfil desejado e permanecer nele por várias horas. Apesar das dificuldades que se nos apresentaram de variabilidade de composição da matéria-prima e no controle da vazão de água no extrator pudemos manter por várias horas o perfil previsto. A figura 5.4 ilustra o comportamento de duas experiências de extração no difusor de planta piloto, realizadas em dias diferentes à temperatura ambiente. A figura 5.5 mostra o perfil de concentrações médio obtido que se conseguiu quando trabalhamos em regime contínuo, à temperatura ambiente. Os valores obtidos provem da análise dos resultados de vários dias de trabalho no difusor de planta piloto.

Desenvolvemos um experimento de extração contínua no qual a camisa do difusor foi colocada à temperatura de 45°C, resultando em uma temperatura de 40°C para o caldo dentro das tinas. Acima dessa temperatura a manipulação do equipamento e dos materiais produzidos apresentava muita dificuldade e a evaporação começava a constituir-se em um problema, além de que o nosso sistema de aquecimento por resistência elétrica tinha capacidade limitada. Os resultados obtidos são mostrados nas figuras 5.6 e 5.7.

5.5 PROGRAMA DE SIMULAÇÃO:

A listagem do programa original se apresenta no Apêndice 8.3.1. Inicialmente o programa foi desenvolvido na linguagem BASIC dos computadores MSX [Casari, 1986] e, posteriormente, para ganhar uma tela gráfica de melhor qualidade e maior rapidez nos cálculos, o programa foi adaptado para rodar em PC, em um interpretador

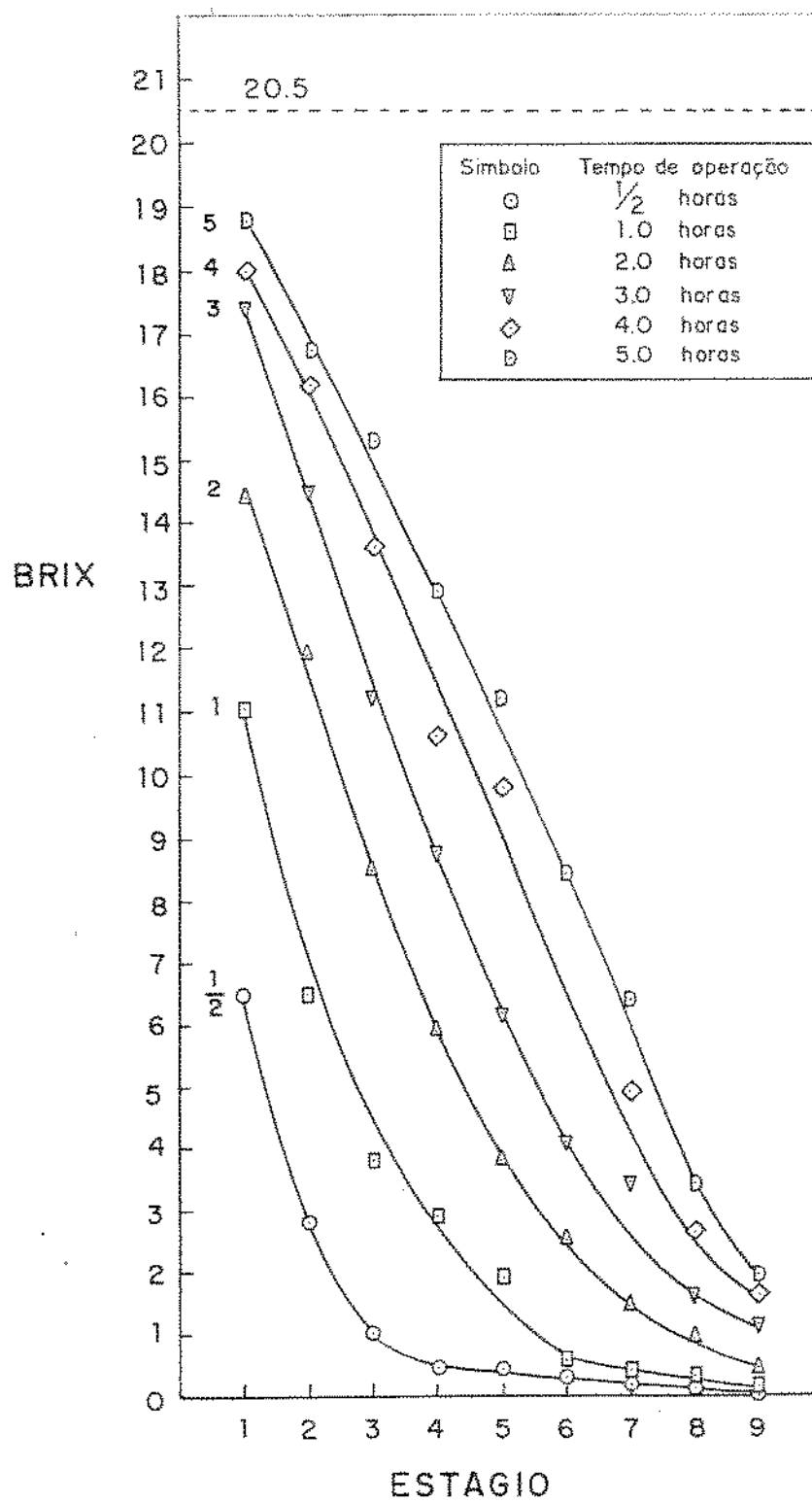


Figura 5.2 Perfis de concentração de sólidos solúveis (Brix) nas tinas do difusor, na fase inicial de enriquecimento das soluções, até chegar ao perfil desejado na extração contínua.

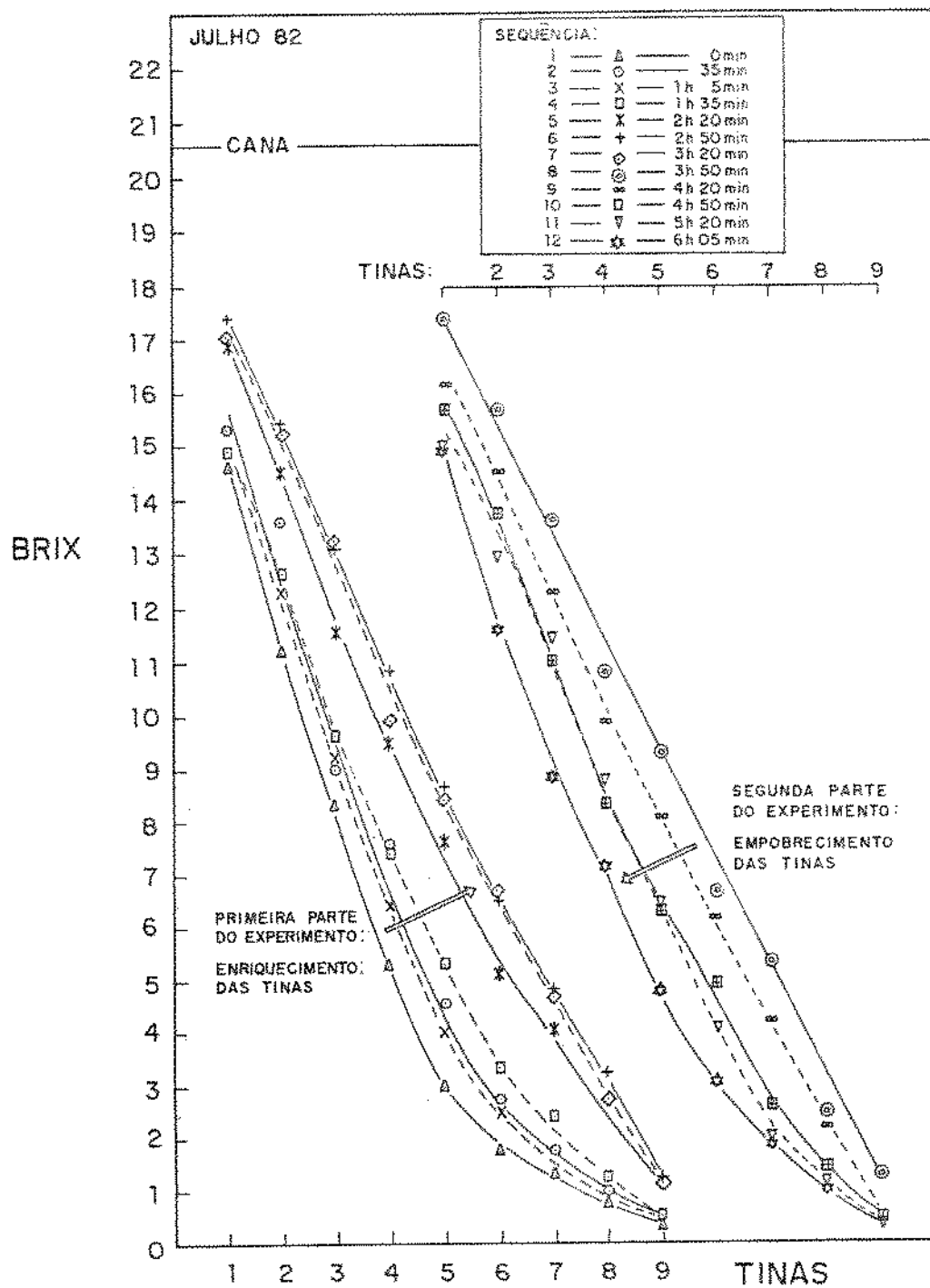


Figura 5.3

Perfis de concentração de sólidos solúveis (Brix) nas tintas do difusor, quando se aumentava a proporção de solvente para diminuir o teor de sólidos solúveis nas tintas.

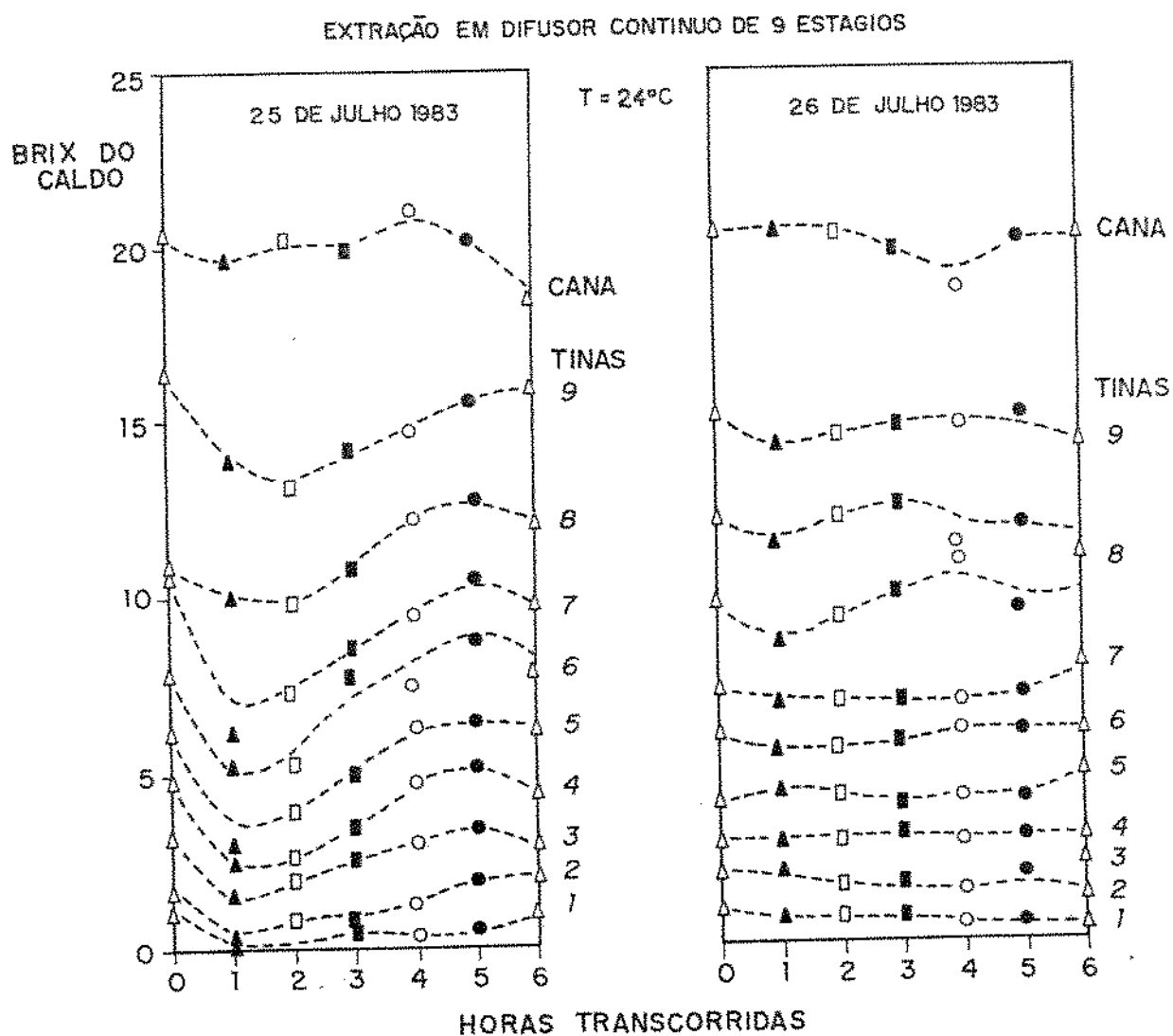


Figura 5.4 Variação do perfil de concentração (Brix) nas tintas do difusor, durante a realização de duas experiências de extração contínua de cana-de-açúcar preparada no triturador Nogueira, à temperatura ambiente (24°C).

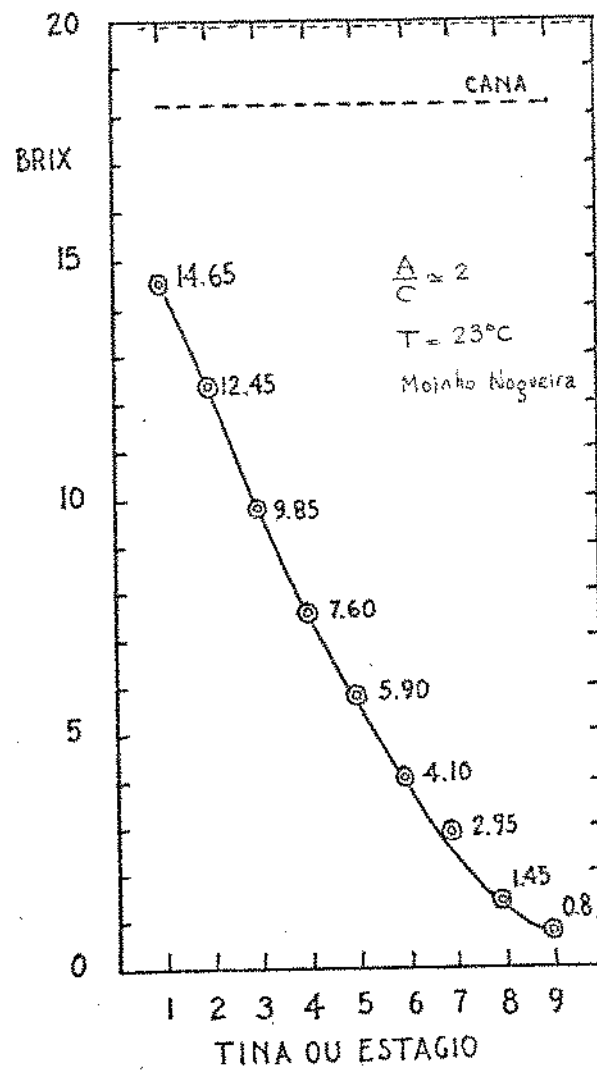


Figura 5.5

Perfil de concentrações média obtido quando se atinge o regime contínuo na extração de cana de açúcar no difusor de planta piloto a temperatura ambiente.

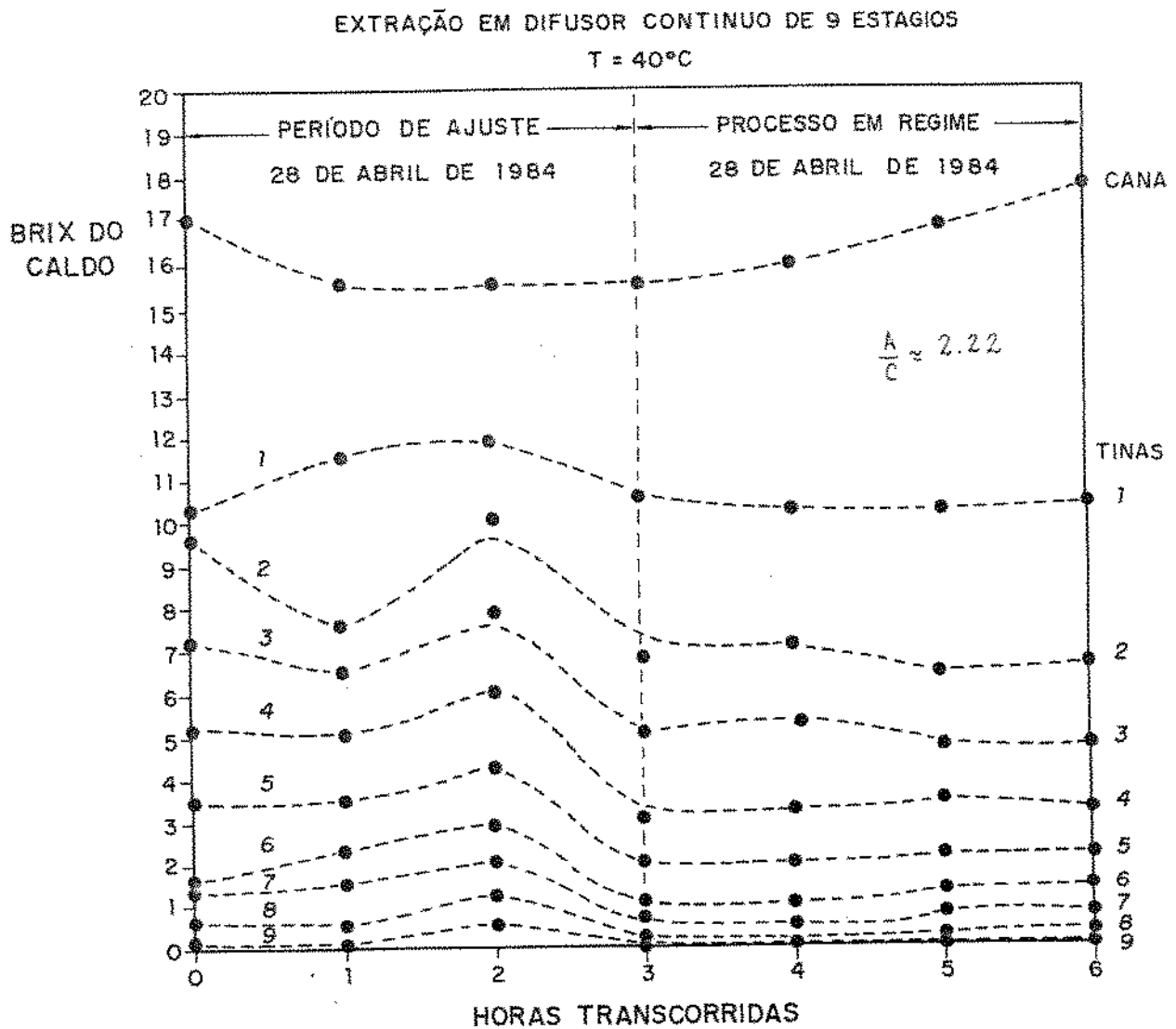


Figura 5.6 Variação do perfil de concentração (Brix) nas tinas do difusor, durante a realização de duas experiências de extração contínua de cana-de-açúcar preparada no triturador Nogueira, à temperatura de 40°C.

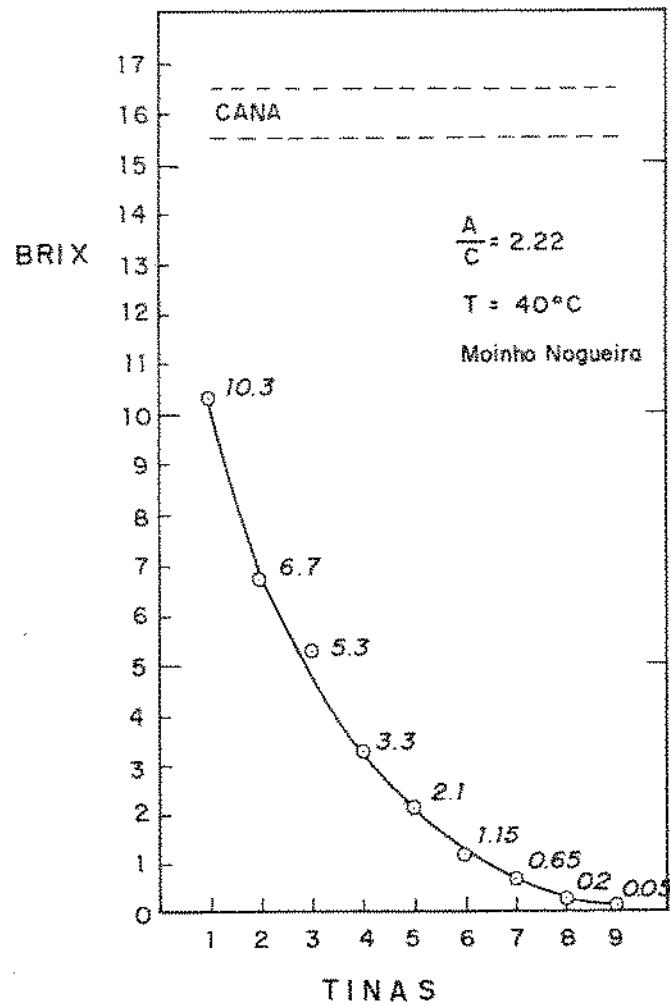


Figura 5.7 Perfil de concentrações média obtido quando se atinge o regime contínuo na extração de cana de açúcar no difusor de planta piloto a temperatura de 40°C .

BASICA [Weber Systems Inc., 1983; Siragusa, 1985; CCE, 1987] ou compilado em um ambiente Turbo-Basic [Hergert, 1989].

Posteriormente foi desenvolvida uma planilha LOTUS para cálculo do difusor e laboração de gráficos de forma automática [Leblond et alii, 1987]. Ver figuras 5.8 e 5.9.

5.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS:

Os resultados de composição dos extratos e de rendimento que o programa de simulação fornece concordam com razoável aproximação com os resultados experimentais. Isto se deve, em parte, ao fator de ajuste F introduzido nos cálculos. Esse fator de eficiência global faz diminuir, um pouco, o valor do nível de extração estimado pelos dados de extração em batelada para adequá-lo aos valores determinados na prática com o difusor contínuo. Na figura 5.10 mostram-se os resultados obtidos no cálculo do fator F.

Na figura 5.11 são mostrados os gráficos de extração de cana de açúcar à temperatura ambiente e a temperatura de 40°C, calculados pelo método do diagrama triangular, usando os valores obtidos com o difusor de planta piloto. Usou-se a curva experimental de sólidos drenados. O comportamento não linear nos primeiros três estágios pode ser explicado pelo fato que neles estaria ocorrendo um processo tanto de extração quanto de hidratação e pode haver uma influência do solvente, que nesses estágios está concentrado e é mais viscoso. Também nos últimos estágios houve uma diminuição da eficiência; neste caso, pode atribuir-se ao esgotamento do soluto livre.

O gráfico mostrado na figura 5.9, mostra o desvio do comportamento da curva que representa aos sólidos escorridos em processo em relação ao comportamento previsto na pesquisa em batelada para cana preparada usando o mesmo tipo de triturador.

O programa de computador foi modificado para considerar esse desvio do comportamento linear na linha dos sólidos e na linha de eficiência. As listagens aparecem no item 8.3.2. O programa modificado (8.3.2) apresenta melhores resultados que o proposto inicialmente (8.3.1). O primeiro programa permitia apenas a obtenção do número total de estágios necessários sem o conhecimento da composição da fase líquida em cada um dos estágios. O segundo programa procura resolver esta limitação.

Quanto a parte de transferência de massa podemos dizer que o extrator construído mostrou ser capaz de separar o açúcar disponível, com um desempenho melhor que o previsto (ver figura 3.6). Foi possível obter a temperatura ambiente, o rendimento que estava previsto para ocorrer em extração a temperatura elevada

Fig 5.8.a. Planilha

Calculo do Difusor tipo Kennedy na extração de açúcar de cana									
Análise dados experimentais (Cavinato, Ortega) [15-12-89 rev. 14-12-90]									
							Δ sólido: Δs/estágio:	11.870 1.319	Δ líquido: Δl/estágio:
								-11.87 -1.319	
4 MASSA SOLIDO	12.77	+C54+SI32	+D54+SI32	+E54+SI32	+F54+SI32	+G54+SI32	+H54+SI32	+I54+SI32	+J54+SI32
5 (Fibra)s	+C4M19	+SC55	+SC55	+SC55	+SC55	+SC55	+SC55	+SC55	+SC55
6 (Caldo)s	+C4-C5	+D4-D5	+E4-E5	+F4-F5	+G4-G5	+H4-H5	+I4-I5	+J4-J5	+K4-K5
7 (Briw/100)s	0.200	0.16782	0.13266	0.10356	0.0817	0.05943	0.044	0.031	0.019187
8 (1-Briw/100)s	1-C7	1-D7	1-E7	1-F7	1-G7	1-H7	1-I7	1-J7	1-K7
9 (Solute)s	+C6M7	+D6M7	+E6M7	+F6M7	+G6M7	+H6M7	+I6M7	+J6M7	+K6M7
10 (Água)s	+C6-C9	+D4-D5-D9	+E4-E5-E9	+F4-F5-F9	+G4-G5-G9	+H4-H5-H9	+I4-I5-I9	+J4-J5-J9	+K4-K5-K9
11 Mass (Briw/100)	+C21M7	+D21M7	+E21M7	+F21M7	+G21M7	+H21M7	+I21M7	+J21M7	+K21M7
12 Megaco/Cana	+C4+SC34	+D4+SC34	+E4+SC34	+F4+SC34	+G4+SC34	+H4+SC34	+I4+SC34	+J4+SC34	+K4+SC34
13 linha auxiliar	1-C20	1-D20	1-E20	1-F20	1-G20	1-H20	1-I20	1-J20	1-K20
14 Solute/estágio	+SC39-C9	+SC39-D9	+SC39-E9	+SC39-F9	+SC39-G9	+SC39-H9	+SC39-I9	+SC39-J9	+SC39-K9
15 Sol. tot. trans.	+SC39-3L39	+SC39-3L39	+SC39-3L39	+SC39-3L39	+SC39-3L39	+SC39-3L39	+SC39-3L39	+SC39-3L39	+SC39-3L39
16 2Solute trans.	100M14/C15	100M14/D15	100M14/E15	100M14/F15	100M14/G15	100M14/H15	100M14/I15	100M14/J15	100M14/K15
17 N (inerte/caldo)	+C5/C6	+D5/D6	+E5/E6	+F5/F6	+G5/G6	+H5/H6	+I5/I6	+J5/J6	+K5/K6
18 Kp	+D7/C24	+E7/D24	+F7/E24	+G7/F24	+H7/G24	+I7/H24	+J7/I24	+K7/J24	+L7/K24
19 Kf,s	1-C20-C21	+D5/D4	+E5/E4	+F5/F4	+G5/G4	+H5/H4	+I5/I4	+J5/J4	+K5/K4
20 Ks,s	+C11/C8	+D9/D4	+E9/E4	+F9/F4	+G9/G4	+H9/H4	+I9/I4	+J9/J4	+K9/K4
21 Ks,s	0.695	+D10/D4	+E10/E4	+F10/F4	+G10/G4	+H10/H4	+I10/I4	+J10/J4	+K10/K4
22									
23 MASSA LIQUIDO	+C4+0.86	+D4+0.86	+E4+0.86	+F4+0.86	+G4+0.86	+H4+0.86	+I4+0.86	+J4+0.86	+K4+0.86
24 (Briw/100)L	0.1465	0.1245	0.0985	0.076	0.059	0.0415	0.0295	0.0175	0.008
25 (Solute)L	+C23M24	+D23M24	+E23M24	+F23M24	+G23M24	+H23M24	+I23M24	+J23M24	+K23M24
26 (Água)L	+C23-C25	+D23-D25	+E23-E25	+F23-F25	+G23-G25	+H23-H25	+I23-I25	+J23-J25	+K23-K25
27 Ys,L	+C24	+D24	+E24	+F24	+G24	+H24	+I24	+J24	+K24
28 Ys,L	1-C24	1-D24	1-E24	1-F24	1-G24	1-H24	1-I24	1-J24	1-K24
29 Extracao liquido	+C25+SC39	+D25+SC39	+E25+SC39	+F25+SC39	+G25+SC39	+H25+SC39	+I25+SC39	+J25+SC39	+K25+SC39
30 Extracao solido	+C14+SC39	+D14+SC39	+E14+SC39	+F14+SC39	+G14+SC39	+H14+SC39	+I14+SC39	+J14+SC39	+K14+SC39
31	0	1	2	3	4	5	6	7	8
4 MASSA SOLIDO	12.770	14.089	15.408	16.727	18.046	19.364	20.683	22.002	23.321
5 (Fibra)s	1.676	1.676	1.676	1.676	1.676	1.676	1.676	1.676	1.676
6 (Caldo)s	11.094	12.413	13.732	15.051	16.369	17.688	19.007	20.326	21.645
7 (Briw/100)s	0.200	0.168	0.133	0.104	0.082	0.059	0.044	0.031	0.019
8 (1-Briw/100)s	0.800	0.632	0.467	0.306	0.148	0.091	0.056	0.030	0.019
9 (Solute)s	2.219	2.083	1.824	1.559	1.337	1.051	0.836	0.630	0.415
10 (Água)s	8.875	10.330	11.907	13.492	15.032	16.637	18.171	19.696	21.230
11 Mass (Briw/100)s	0.139	0.123	0.103	0.084	0.068	0.051	0.039	0.028	0.017
12 Megaco/Cana	1.000	1.103	1.207	1.310	1.413	1.516	1.620	1.723	1.826
13 linha auxiliar	0.826	0.852	0.882	0.907	0.926	0.946	0.960	0.971	0.982
14 Solute/estágio	0.000	0.136	0.394	0.660	0.881	1.168	1.382	1.589	1.803
15 Sol. tot. trans.	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997	1.997
16 2Solute trans.	0.000	6.794	19.750	33.059	44.139	58.469	69.231	79.558	90.315
17 N (fibra/caldo)s	0.151	0.135	0.122	0.111	0.102	0.095	0.088	0.082	0.077
18 Kp	1.146	1.067	1.051	1.075	1.007	1.060	1.051	1.096	1.208
19 Kf,s	0.131	0.119	0.109	0.100	0.093	0.087	0.081	0.076	0.072
20 Ks,s	0.174	0.148	0.118	0.093	0.074	0.054	0.040	0.029	0.018
21 Ks,s	0.695	0.733	0.773	0.807	0.833	0.859	0.879	0.895	0.910
22									
23 MASSA LIQUIDO	13.630	14.949	16.268	17.587	18.906	20.224	21.543	22.862	24.181
24 (Briw/100)L	0.147	0.125	0.099	0.076	0.059	0.042	0.030	0.018	0.008
25 (Solute)L	1.997	1.861	1.602	1.337	1.115	0.839	0.636	0.400	0.193
26 (Água)L	11.633	13.088	14.665	16.250	17.790	19.385	20.908	22.462	23.988
27 Ys,L	0.147	0.125	0.099	0.076	0.059	0.042	0.030	0.018	0.008
28 Ys,L	0.854	0.876	0.902	0.924	0.941	0.959	0.971	0.983	0.992
29 Extracao liquido	0.900	0.839	0.722	0.602	0.503	0.378	0.285	0.180	0.087
30 Extracao solido	0.000	0.061	0.178	0.298	0.397	0.526	0.623	0.716	0.813

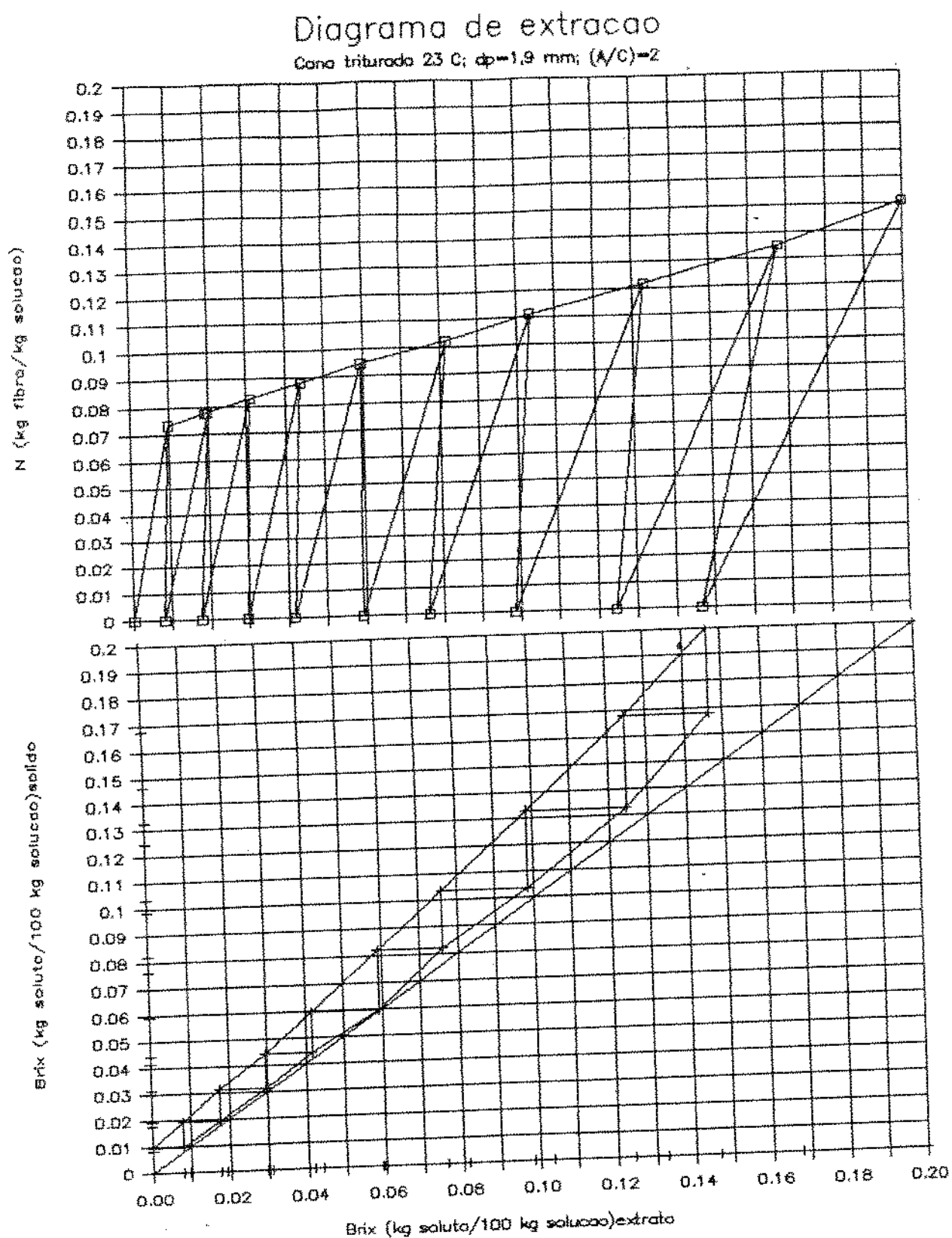
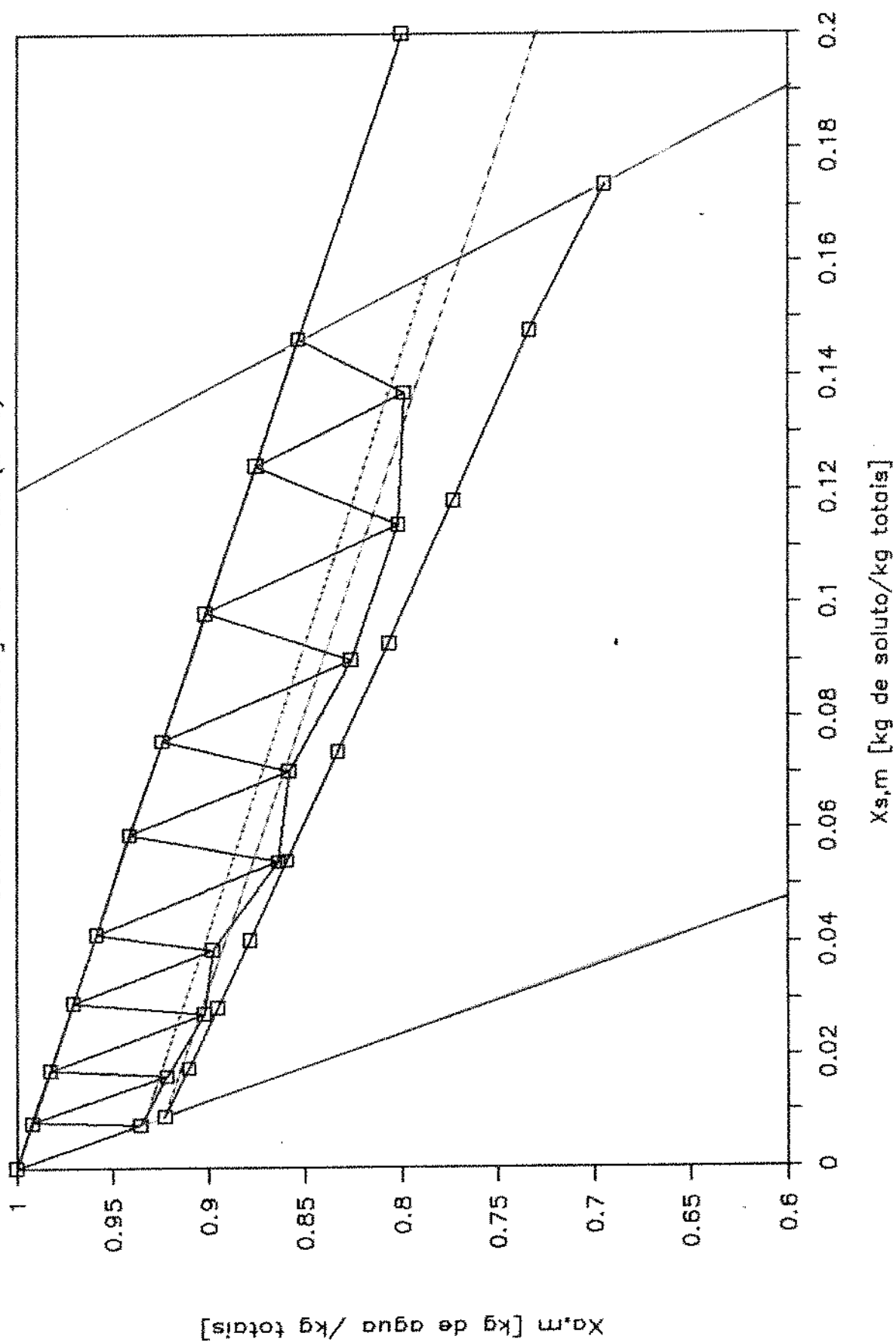


Fig.5.8.b. Gráficos derivados da Planilha

Fig. 5.9 Diagrama triangular de extracao
com linha de descarga de solidos (24 °C)



	Valor do fator F	
	Partículas médias $dp \cong 1.2-1.9 \text{ mm}$	Partículas finas $dp \cong 1 \text{ mm}$
Temperatura ambiente (23°C)	0.916	0.917
Difusor aquecido T= 40°C	0.929	0.932

Figura 5.10 Valores do fator F obtidos da análise dos dados experimentais de extração contínua e de extração em batelada.

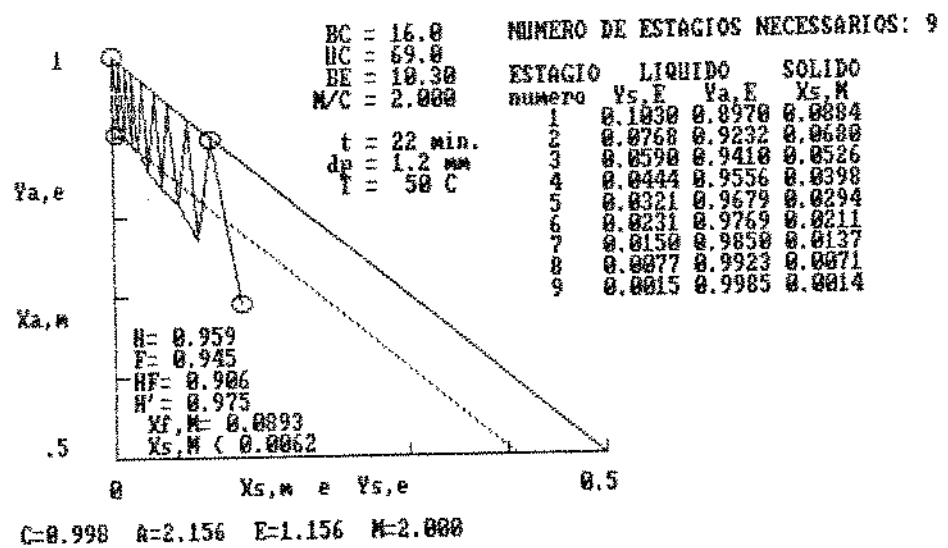
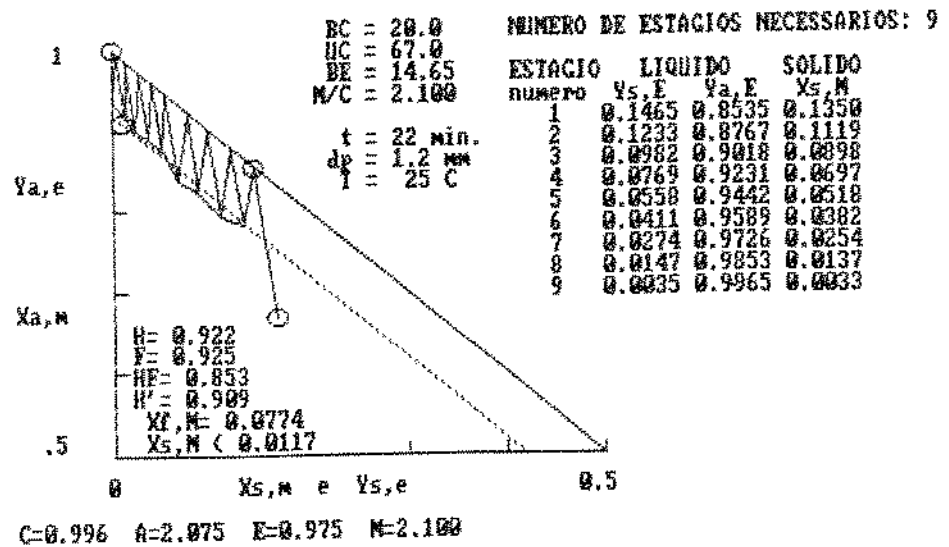


Figura 5.11

Gráficos de extração calculados pelo método de diagrama triangular usando curvas de eficiência obtidas experimentalmente.

(67°C). Este comportamento melhor que o esperado pode ser atribuído, basicamente, à mudança na preparação da cana, pois o produto do moinho Nogueira tem um diâmetro de partícula menor que o do moinho Veneta. O cálculo inicial levou em consideração dados levantados com cana triturada em moinho Veneta e a pesquisa de extração contínua foi levada a cabo com cana triturada em moinho Nogueira, principalmente.

Também parte menor desse rendimento acima do previsto pode atribuir-se a uma boa drenagem, com certo grau de compressão que ocorreu nas últimas tinas do difusor, e a uma extração nas tinas com maior volume de líquido e com certo grau de agitação, o que não existia na extração em batelada realizada para determinar a linha de sólidos drenados. Ambos procedimentos melhoram o rendimento dos aparelhos de extração sólido-líquido.

Uma observação importante é a de que não é necessário o aquecimento se a trituração for boa. E, no caso de usar-se aquecimento, a temperatura ótima pode estar entre 40 e 50°C. Este sistema era utilizado na mini-destilaria da Fazenda Ermida de Jundiá em 1986.

O equipamento empregado na pesquisa apresentou inicialmente problemas mecânicos no sistema de transporte de sólidos e, no fim das pesquisas, problemas nas tinas devido à erosão por atrito da massa de cana e corrosão química devido à acidez do caldo de cana.

Para tirar uma conclusão definitiva sobre a aplicabilidade do extrator Kennedy nas miniusinas de álcool seria necessário um teste prolongado do aparelho junto à uma minidestilaria.

6. CONCLUSOES E RECOMENDACOES:

6.1 SOBRE O TEMPO NO PROCESSO DE EXTRAÇÃO:

Os resultados da pesquisa em batelada indicaram a existência de dois fenômenos de separação: uma extração rápida e um processo difusional lento.

O projeto do equipamento nos levou a um extrator pequeno, de nove estágios e tempo de residência de 22-24 minutos, em que se aproveitava basicamente a fase de extração rápida de células abertas e dispunha-se ainda de tempo para realizar uma parte da separação difusional de células de mais difícil acesso.

Consideramos interessante a proposta de trabalhar unicamente para extrair o soluto de células abertas, esta poderia ser uma solução econômica na prática industrial, caso nenhum outro fator da extração se torne limitante no projeto do difusor.

Tanto as equações desenvolvidas para estimar o grau de extração no sistema em batelada quanto o gráfico-resumo da pesquisa em batelada (figura 4.5) permitem predizer o nível de extração (B/B_0) possível de se atingir no processo em batelada. Essa informação pode nos servir como referência para estimar a eficiência no extrator contínuo. A diferença existente entre o rendimento obtido no extrator de planta piloto e os previstos pelas equações ou com o gráfico-resumo da pesquisa em batelada nos fez levar em conta o fator de ajuste F.

Os dados de embebição (M/C) obtidos na pesquisa em batelada, permitem propor, para o sistema contínuo, uma linha dos sólidos drenados relativa a diversas condições de temperatura e diâmetro de partícula, porém são válidas apenas para um tempo prolongado de contato (20 minutos). Uma deficiência no planejamento da pesquisa nos impediu de estudar o efeito do tempo de contato na embebição.

No futuro a pesquisa sobre embebição deverá levar em conta, também, o tempo de contato, sendo que as amostras deverão a ser tomadas diretamente do extrator funcionando em regime contínuo. E assim poderão desenvolver-se equações que considerem a influência de todas as variáveis que definem o valor da relação de embebição (M/C), equações que permitirão melhorar o programa de simulação da extração, possibilitando cálculos para valores intermediários de tempo, tamanho de partícula e temperatura do solvente.

6.2 IMPORTANCIA DO TAMANHO DE PARTÍCULA:

Sabe-se que o material preparado nas destilarias que usam difusor apresenta características diferentes das do material empregado nesta pesquisa, por exemplo: fibras longas de celulose junto a partículas finas (1.5 - 2.5 mm) ou partículas sem fibras longas mas de tamanho maior (2 - 3 mm).

A preparação do material mostrou ser tão importante quanto o próprio processo de extração sólido-líquido. A mudança do triturador de dentes Veneta para o triturador de facas e martelos Nogueira permitiu aumentar o grau de extração que se consegue na lavagem inicial de 85-93% para 95-96%, a temperatura ambiente.

No início da pesquisa, usamos o método de classificação de tamanho recomendado pelo Laboratório de Matérias Primas Agropecuarias da Faculdade de Engenharia Agrícola (método de Henderson, 1955), que foi mantido até o final das experiências para comparação dos distintos testes. Outra análise, mais apurada, poderia ter sido feita, mas como isto implicava em um consumo maior de tempo em todas as experiências, e como os recursos com que contávamos eram limitados, decidimos dar ênfase a outros aspectos da pesquisa.

Tanto no material "grosso" preparado no moinho Veneta quanto no material "fino" preparado no moinho Nogueira notou-se uma queda na extração nas temperaturas entre 50°C e 80°C. Esse efeito pode-se iniciar e terminar em temperaturas levemente menores no preparado mais fino, conforme pode ser visto na figura 4.6.

Técnicas de microscopia devem ser usadas para análise da estrutura e composição das partículas de cana de açúcar. Porém, como não foi possível conseguir recursos adicionais para esses estudos, fica como uma possibilidade de trabalho futuro.

6.3 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA:

Era de se esperar que a temperatura favorecesse a extração. A pesquisa experimental mostrou a temperaturas maiores de 50-60°C, o rendimento diminui e somente volta a crescer a temperaturas acima de 70°C. A queda no grau de extração atribui-se ao efeito da oclusão provocada pela gelatinização do amido da cana, que ocorre nesse intervalo de temperatura (Park et alii, 1985), após o qual há uma recuperação no grau de extração.

Mesmo a temperatura ambiente (20-27°C), o rendimento foi alto e poderia-se pensar-se na possibilidade de fazer a extração sem aquecimento, se isso não acarreta-se problemas microbiológicos nas microdestilarias.

Não se evidenciou uma temperatura de destruição de paredes celulares, à diferença do que ocorre na extração da beterraba açucareira.

6.4 INFLUÊNCIA DO PH:

A corrosão ocorrida no equipamento de planta piloto empregado nos ensaios, mostrou que é necessário o ajuste de pH dos caldos nas tinas do extrator, quando este for construído de ferro preto.

Na indústria aplica-se tanto a técnica de adicionar hidróxido de cálcio para o abaixamento da acidez natural do caldo, quanto a técnica de não se adicionar cal, e construir o equipamento com chapa de ferro preto mais grossa para resistir ao ataque ácido do caldo de cana natural ou fermentado.

Nesta pesquisa (figura 4.7), verificou-se que a alteração do pH do caldo, pela adição de cal, não modifica sensivelmente o nível de extração com água pura. Portanto, pode-se utilizar o hidróxido de cálcio para ajuste do pH sem comprometimento do rendimento.

6.5 EFICIÊNCIA DO EXTRATOR:

O extrator foi projetado para extrair 85% dos sólidos com água a temperatura de 67°C. Na prática esse desempenho foi obtido com água a temperatura ambiente (23-27°C). O fator de ajuste (F) teve um valor de 0,916 em média. Para temperatura alta (40°C) e tamanho menor de partícula, que se obteve pela troca do moinho Veneta pelo Nogueira, conseguimos rendimentos de extração de até 98%, nos nove estágios do extrator, com o mesmo tempo de residência. O fator de ajuste subiu para 0,930 aproximadamente.

A pesquisa no extrator de planta piloto mostrou que a compressão e a drenagem, variáveis que foram desconsideradas para facilitar este trabalho acadêmico, merecem em futuros estudos de extração sólido-líquido a dedicação de um item específico.

Na abordagem inicial da pesquisa, talvez influenciados pela literatura existente sobre o tema de extração sólido-líquido de açúcar, que era européia e citava que no processo de extração da beterraba a difusão era o fenômeno de transferência dominante (e daí o nome de difusores para os extratores), demos mais importância ao processo de difusão. Assim desprezamos o efeito da agitação do leito. Em pesquisas futuras isso poderá ser revisto e o efeito quantificado, sabendo que no processo inicial de extração (o mais importante em função do açúcar extraído) sofre a influência da convecção.

Também pesquisas futuras poderão levar em conta a diversidade do material, estudando o comportamento das distintas variedades de cana frente à extração com água.

6.6 AVALIAÇÃO DO DIFUSOR TESTADO:

O extrator testado conseguiu fazer a extração prevista e um pouco mais, porém apresentou alguns problemas: mecânicos (transporte de sólidos), de corrosão (ataque ácido), e erosão (atrito da cana com a chapa de metal da tina nas duas tinas finais). Em certa forma alguns destes problemas estão relacionados com o aumento da eficiência, pois a compressão nos últimos estágios assim como aumentou o rendimento originou erosão da chapa metálica e em certas ocasiões o travamento do sistema de movimentação.

Para uma conclusão definitiva sobre o desempenho do difusor, deveria ser realizado um período de provas do equipamento junto a uma destilaria de álcool, de preferência uma que utilize o sistema de extração por difusão. Devem prever-se investimentos adicionais na substituição da carcaça ou parte dela para suportar esse teste.

O equipamento pesquisado tem potencial de uso em extrações que não usem solventes voláteis e em operações de lavagem de materiais sólidos com água.

6.7 SUGESTÕES:

Os programas de computação desenvolvidos neste trabalho dão resultados aceitáveis e podem ser utilizados para várias finalidades:

1. Cálculo de difusores (extratores de açúcar de cana).
2. Eventual controle de processo de extração sólido-líquido de açúcar de cana em mini-usinas de álcool, com tecnologia parecida com a proposta.
3. Adaptação à outras tecnologias de extração sólido-líquido.
4. Ferramenta didática auxiliar para o ensino de operações unitárias de transferência de massa.

Colocamos aqui algumas idéias para desenvolvimento no futuro, visando o aproveitamento tanto do equipamento construído quanto da experiência de pesquisa adquirida:

1. Novas metodologias para determinar curvas de equilíbrio prático levando em conta o tempo real de contato.
2. Complementação do programa de computação para incorporar o cálculo das dimensões do equipamento.
3. Fabricação de um extrator tipo Kennedy de escala menor (1 ou 2 kg de cana triturada por hora) para facilitar as pesquisas de laboratório.
4. Adaptação do programa de cálculo computacional à outras técnicas de cálculo gráfico-numérico de extratores sólido-líquido.

7. BIBLIOGRAFIA:

- 01 ADAM, P. (1981): "Comunicação pessoal". De Smet do Brasil; São Paulo.
- 02 ADAM, P. (1982): "O processo de extração DE SMET para cana de açúcar". Stab. 1(2):279-280.
- 03 ALBERTINI, A. (1980): "Influência do grau de cominuição da cana na velocidade e eficiência de extração da sacarose de cana de açúcar". Relatório de bolsa de iniciação científica. Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo.
- 04 ALLISON, W. F. (1977): "Effect of extraneous material and fiber in sugar cane on the sugar extraction and recovery". Proceedings XVI ISSCT, 2173-2178.
- 05 BACCARO, A. M. (1980): "Difusor retorna para competir com a moenda". Química e Derivados 172:30-43.
- 06 BACIC, M.; CARPINTEIRO, J.; COSTA LOPES, C.; ORTEGA, E. (1988): "Proposta para o estudo de um novo modelo de empresa agroindustrial". Trabalho apresentado no II Encontro Brasileiro de Energia para o Meio Rural, Unicamp.
- 07 BARRETO DE MENEZES, T. (1980): "Etanol, o combustível do Brasil. Editora Agronômica Ceres. São Paulo.
- 08 BIONDI, P. R. (1981): "Caracterização das condições de extração de cana de açúcar por difusão, em escala de laboratório". Relatórios de bolsa de iniciação científica. Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo.
- 09 BJERAGER, E.; BRÚNICHE-OLSEN, H. (1968): "Preliminary investigations on extraction of sugarcane at varying pH values, temperatures, and retention times". Proceedings 13th ISSCT, 151-163.
- 10 BUCHANAN, E. J.; JULIENNE, M. S. A. (1970): "Some observations on diffusion of cane by percolation and submerged technique". The International Sugar Journal 72:67-70, 99-103.
- 11 BUENO, R. (1980): "Pré-Alcool: rumo ao desastre", Segunda edição, Editora Vozes.
- 12 BMA, A. G. (1979): "Difusores de cana marca BMA, sistema egípcio". Prospecto de equipamentos.

- 13 BRENNAN, J.C. et al.(1976). "Food Engineering Operations", 2nd edition. Applied Science Publishers Ltd., London, England. Páginas: 175-200.
- 14 BRÜNICHE-OLSEN, H.(1962): "Solid Liquid Extraction". NYT Nordisk Forlag Arnold Busck, Copenhagen.
- 15 BRÜNICHE-OLSEN, H. (1969): "Diffusion of beet and cane". Sugar Technology Review 1:3-42.
- 16 CABRAL, F. (1989): "Estudo cinético da invertase livre e imobilizada em alginato de cálcio". Tese de mestrado, FEA, UNICAMP.
- 17 CARNAHAN, B.; LUTHER, H. A.; WILKES J. O. (1975): "Applied Numerical Methods", John Wiley and Sons, New York.
- 18 CASARI, N.(1986). "MSX: Prática e Domínio". Editora Atlas, S.A. São Paulo.
- 19 CAVINATO, L. (1982): "Construção de um extrator de planta piloto". Relatórios de bolsa de iniciação científica. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- 20 CCE INFORMATICA LTDA. (1987): "Manual de Instruções do Executivo XT (MC 5000 P)", São Paulo.
- 21 CERQUEIRA LEITE, R. (1988): "Pró-Álcool: A única alternativa para o futuro". Segunda edição, Editora da Unicamp, Campinas.
- 22 CHANDRASEKARAN S.K. et alli (1976): "Scopolamine Permeation through human skin *In Vitro*". A.I.Ch.E. Journal, 22, 5, 828-831.
- 23 CHARM, S. E. (1976): "The Fundamentals of Food Engineering". The AVI Publishing Company, Westport, Conn., U.S.A. Páginas: 460-482.
- 24 COFIELD, E. P. (1951): "Solvent extraction of oilseed". Chemical Engineering, (1):127-151.
- 25 CORSINI, R. (1981): "Plano das Mini-usinas de álcool hidratado". Revista do Instituto de Engenharia 428:20-25.
- 26 COULSON, J.M.; RICHARDSON, J.E. (1976): "Chemical Engineering", Volume 2, Segunda edição, Pergamon Press, Oxford, Inglaterra. Páginas: 278-314.
- 27 CRANK, S.(1975): "The Mathematics of Diffusion" Second Edition, Claredon Press, Oxford, England. pag 96.

- 28 CUSSLER E.L.(1984): "Mass transfer in fluid systems".
Cambridge University Press. New York. pag 479.
- 29 DELAVIER, H. J. (sem data): "Solid liquid extraction process
in the sugar industry". Sem referência da revista onde
foi publicado o artigo. Separata A-2308 a 2310, da
Biblioteca da Faculdade de Engenharia de Alimentos da
UNICAMP.
- 30 DELAVIER, H. J.; Shokrant, R. (1974): "Micro-structure of
sugarcane tissue for solid-liquid extraction"
- 31 DE SMET ENGINEERING, (1981): "Difusão da cana para as usinas
de açúcar e álcool". Prospecto de De Smet do Brasil,
Comércio e Indústria Limitada, São Paulo.
- 32 EBELING, C. (1978a): "Difusor de cana para destilarias autó-
nomas". Brasil açucareiro 91(5):19-27.
- 33 EBELING, C. (1978b): "Origem e Principios da difusão". Brasil
açucareiro 91(6):11-19.
- 34 FILGUEIRAS, G. (1981): "Etanol de beterraba nos estados do
sul do Brasil". Anais do II Congresso Brasileiro de
Energia, Rio de Janeiro, 527-500.
- 35 FITZGERALD, J. R.; SALT, G. E.; VAN HENGEL, A. (1980): "The
F. S. difuser (Van Hengel System)". Inst. Sugar J. 80
(949):3-9.
- 36 FREUND, P. (1968): "A theoretical approach to cane diffusion"
Proceedings 13th ISSCT, 133-141.
- 37 FOLHA DE SÃO PAULO, jornal do sabado 13 de abril de 1985:
"O número de microdestilarias cresce no interior do
estado -São Paulo", "Um projeto para gerar mais empregos
-Parana".
- 38 FOSTER, D. H.; SHANN, D. S. (1968): "Cane preparation in
relation to milling and diffusion". Proceedings 13th
ISSCT, 142-150.
- 39 FOUST, A.S. et alli (1980): "Principios das Operações Unitá-
rias", segunda edição. Editora Guanabara Dois, S.A.,
Rio de Janeiro. Páginas: 42-51.
- 40 GARCIA, J. C.; RUAS, D. G. G.; FELICIO, A. F. (1979): "As
perspectivas de produção de álcool a partir de sorgo
sacarino". Informe Agropecuário 58(6):61-69.
- 41 GENIE, G. V. (1980): "Some problems and consequences of the
evaluation of the transfer efficiency of cane
diffusers". Int. Sugar J., 80(949):259-263.

- 42 GOMES DA SILVA, J.; SERRA, G. E.; MOREIRA, J. R.; GONÇALVES, J. C. (1976): "Balanço energético cultural da produção de álcool etílico de cana de açúcar, mandioca e sorgo sacarino". Brasil Açucareiro 88(6):8-21.
- 43 GRAHAM, W. S.; MORRIS, R. M.; OSTHRIZEM, D. M. (1988): "Preliminary Physicochemical Studies on Sugarcane Diffusers". Proceedings 13th ISSCT, 122-132.
- 44 HELDMAN, D. R.; SINGH, P. R. (1981): "Food Processing Engineering" 2nd edition. AVI Pub. Co. Inc., Westport, Conn., U.S.A. Páginas: 124-131, 339-363.
- 45 HERGERT, D. (1989): "Introdução ao Turbo Basic". Editora Campus, Rio de Janeiro.
- 46 HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L. (1955): "Agricultural Process Engineering". John Wiley and Sons, Inc., New York. Páginas: 118-125.
- 47 KOENIG, D. M. (1969): "Invariant Imbedding and Countercurrent Multistage Operations": I. E. C. Fundamentals, Vol. 8, No 3, p. 537-540.
- 48 LA ROVERE, E.; TOLMASQUIM, M. (1984): "Sistemas Integrados de Produção de Energia e Alimentos" em: CNPQ, FINEP, UNB, UNESCO, UNU: "Proceedings of the International Seminar on Ecosystems, Food and Energy". Unesco, Escritório Regional para Ciência e Tecnologia, Montevideo. Páginas: 55-77.
- 49 LEBLOND, G. T.; COBB, D. F. (1987): "Usando 1-2-3 versão 2", Editora Campus, Rio de Janeiro.
- 50 LEME, J., BORGES, J. M. (1965). "Açúcar de Cana". Imprensa Universitária da Universidade Rural de Minas Gerais, Viçosa. Páginas: 20-21.
- 51 LERMAN, F.; Kennedy A. B.; Loshin J. (1948): "Countercurrent liquid-solid extraction, the Kennedy continuous pilot plant". Industrial and Engineering Chemistry 40(9):1753-1758.
- 52 LONCIN, M. (1965). "Técnica de la Ingeniería Alimentaria". Editorial Dossat, S. A., Madrid, Espanha. Páginas: 188-192.
- 53 McCABE, W. L.; SMITH, J. C. (1976): "Unit Operations of Chemical Engineering". Third edition. McGraw-Hill-Kogakusha, Toquio.

- 54 MINC, C. (1987): "Os desafios da Ecopolítica no Brasil" em: Pádua, J. A.(organizador), "Ecologia e Política no Brasil", Editora Espaço e Tempo Ltda./IUPERJ, Rio de Janeiro. Páginas: 111-138.
- 55 NEWMAN, A.B. (1931): "The drying of porous solids: diffusion and surface emission equations". Transactions A.I.Ch.E., 27, 310-333.
- 56 O ESTADO DE SÃO PAULO, jornal do dia 24 de abril de 1981: "A cana já vende 5 milhões de litros".
- 57 ODUM, HOWARD T.; ODUM, ELISABETH C. (1976): "Energy basis for man and nature". MacGraw-Hill Book Company, New York.
- 58 ODUM, H. T. (1983): "Systems Ecology". John Wiley and Sons, New York.
- 59 OLIVEIRA, L. (1983): "Comunicação pessoal", Fazenda Ermida, Jundiaí, São Paulo.
- 60 ORTEGA, E.; GORDO, V.; MENEGALLI, F. (1979): "Informe final do projeto de construção de mini-usina de álcool para pesquisa". Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia.
- 61 ORTEGA, E. (1987): "Desenvolvimento de Tecnologia para o Pequeno e Medio Produtor de Alimentos-Estudo de caso: A produção de oleos". Trabalho apresentado na Faculdade de Engenharia de Alimentos.
- 62 ORTEGA, E.; RIBEIRO, A.A.; ANDRADE, F. (1988): "Simulação da extração sólido-líquido de açúcar de cana". Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, FAAP, S.P.
- 63 PAGIN, P. (1985): "Ensaio de extração sólido-líquido de cana de açúcar, em batelada". Relatório de iniciação científica. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo".
- 64 PAYNE, J. H. (1989): "Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana". Livraria Nobel S.A / STAB, S.P.
- 65 PARK, Y.K.; MARTENS, I.S.H.; SATO, H.H. (1985): "Enzymatic removal of starch from sugar cane juice during sugar cane processing". Process Biochemistry, April, páginas 57-59.
- 66 PASCHOAL, A.D. (1983): "O onus do modelo da agricultura industrial". Revista Brasileira de Tecnologia, Janeiro/Fevereiro, Brasília.

- 67 PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. (1980): "Manual de Engenharia Química". Quinta edição, Guanabara Dois, R. J.
- 68 PLACHCO, F. P.; KRASUK, J. H. (1970): "Solid-Liquid Countercurrent Extractors". Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., Vol. 9, No. 3, páginas: 419-433.
- 69 RAUPP, A.; CORDEIRO, D.; PETRINI, J.; PORTO, M.; SANTOS, B.; DIAS, J. (1981): "Sorgo sacarino e beterraba açucareira: biomassas para a produção do álcool no Estado do Rio Grande do Sul". Anais do II Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, Páginas 539-500.
- 70 RIBEIRO, A. P. T. (1984): "Ensaio de extração sólido-líquido de cana-de-açúcar, em contínuo". Relatório de iniciação científica. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- 71 RIBEIRO, B.A. (1982): "Determinação de curvas de equilíbrio do sistema água-soluto-fibra para cana-de-açúcar". Bolsa de pesquisa. Serviço de Apoio ao Estudante da Unicamp.
- 72 SACHS, I. (1988): "Ecodesenvolvimento: Crescer sem destruir". Editora Vértice, São Paulo.
- 73 SAN MARTIN, P. (1985): "Agricultura Suicida: um retrato do modelo brasileiro", Editora Ícone, São Paulo.
- 74 SCHWARTZBERG, H.G; CHAO, Y.R (1982): "Solute diffusivities in Leaching Processes". Food Technology. 35 (1) : 73-86
- 75 SIRAGUSA, C. (1986): "Basic Estruturado", McGraw-Hill, São Paulo.
- 76 SODDU, A.; Gioia, F. (1979): "Diffusion through living systems, sugar loss from sugar beet". Chem. Eng. Sci. 34, 763-773.
- 77 SOLNIK, A. (1984): "A máquina de acabar com a fome". Revista Senhor número 192, de 21/11/84, Editora Três, São Paulo.
- 78 SOYLEMEZ, S.; Seider W. D. (1973): "A new technique for precedence - ordering chemical process equation sets". A.I.Ch.E. Journal, Vol. 19, No. 5, p. 934-942.
- 79 TREYBALL, R.E. (1980). "Mass Transfer Operations", 3rd edition. McGraw-Hill International Book Co., Toquio, Japan. Páginas: 717-765.
- 80 UPADHAIYA, U. C. (1971): "Milling Vs. Diffusion". Indian Sugar. Part I: 21(3): 833-838; Part II: 21(4): 1-6.

- 81 VIAN, A.; OCÓN, J. (1959): "Elementos de Ingeniería Química". Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid.
- 82 WEBER SYSTEMS, INC. STAFF (1983): "IBM BASIC User's Handbook" Ballantine Books, New York.
- 83 WIESNER, B. (1984): "Report on the Seminar" em: CNPQ, FINEP, UNB, UNESCO, UNU: "Proceedings of the International Seminar on Ecosystems, Food and Energy". Unesco, Escritorio Regional para Ciência e Tecnologia, Montevideo. Páginas 3-53.
- 84 WU, H. S. (1983): "A brief review of recent diffuser development". Proceedings 13th ISSCT, 165-168.

8. APENDICES:

8.1 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DA EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO DOS SÓLIDOS SOLÚVEIS DE CANA-DE-AÇÚCAR:

Foram elaborados vários programas em linguagem Basic, para analisar os dados experimentais e obter os parâmetros de transferência de massa desejados.

Programa DIFSVDE1.BAS

Permite o cálculo da difusividade efetiva na fase inicial de um processo de extração, em volume finito de solvente, com boa agitação. Tem como base a solução de Crank (equação 2.39)

Programa DIFSVDE2.BAS

Permite o cálculo da difusividade efetiva, na fase final de um processo de extração, em volume finito de solvente, com boa agitação, no qual a velocidade de transferência de soluto é limitada, por causa do baixo valor da difusividade nas células, cujas paredes celulares não foram afetadas pelo processo de trituração da cana. Considera que após a finalização do processo de extração rápida das células abertas, o perfil de concentração da partícula é uniforme e a mudança da concentração no líquido que rodeia as partículas nessa fase final do processo é muito pequena podendo-se considerar que esse líquido consegue a homogeneidade. A base de cálculo é a equação (2.39), partindo de um certo nível de concentração obtido na extração inicial rápida..

Programas CRANKR.BAS e CRANKT.BAS:

Trata-se de uma junção dos programas DIFSVDE1.BAS e DIFSVDE2.BAS. Estes novos programas nos permitem comparar os pontos experimentais e as curvas obtidas com a equação (2.39) aplicada em dois intervalos distintos (0-4 minutos e 5 a 30 minutos) com valores de difusividade diferentes (difusividade de célula aberta e difusividade impedida). Com algumas rotinas especiais de programação conseguimos a visualização do trazado das curvas de ajuste uma após a outra e, ao final do trabalho, a gravação de um arquivo de tela gráfica que contém todas as curvas para cada variável testada. Esse arquivo poderá ser chamado para aparecer na tela do monitor e ter sua imagem registrada na impressora com ajuda do programa SHOWTELA.BAS.

Programa THETA.BAS

Permite observar a mudança do perfil de concentração em incrementos de tempo adimensionalizado [$\Delta(\text{Fick})$] e a mudança do rendimento nesse mesmo intervalo. Tem como base a lei de Fick de segunda ordem em esferas porosas, resolvida pelo método numérico das diferenças finitas (Crank-Nicholson).

Programa BETA.BAS

Permite observar a mudança do perfil de concentração em incrementos de tempo adimensionalizado e a variação do rendimento correspondente no tempo (não adimensionalizado). Considera dois processos diferentes e sequenciais: difusão livre e fenômeno de sorção. Entra-se com dados de difusividade específica, número de Biot, tempo de esgotamento do processo inicial e β , o valor do coeficiente de adsorção proposto.

Programa BIBERAI0.BAS

Consolida os valores do ajuste de dados realizado com o programa BETA.BAS em relação ao efeito da mudança do raio de partícula.

Programa BIBETEMP.BAS

Consolida os valores do ajuste de dados realizado com o programa BETA.BAS em relação ao efeito da mudança da temperatura do solvente.

Programa NEWMAN.BAS

Empregando a equação (2.43) o programa permite traçar a curva de um processo de extração sem muita agitação, à partir de valores do número de Biot e da difusividade efetiva para o processo de extração não diferenciado em etapas distintas.

O programa também coloca na tela os valores dos pontos experimentais e os valores correspondentes obtidos com a curva de ajuste.

Programas NEWRAIO.BAS e NEWTEMP.BAS

Traçam a curva de um processo de extração que ocorre em duas fases:

a) do instante inicial até os quatro minutos, um processo de extração com volume finito de líquido, sem agitação plena, empregando para isso valores de Biot e da difusividade efetiva. Os cálculos procedem conforme a equação de Newman (2.43);

b) após esse período, e até o fim da extração, um processo no qual a resistência externa é desprezível, o perfil de concentração dentro da partícula é uniforme e um valor pequeno da difusividade efetiva regula a velocidade de transferência de acordo com a equação de Crank (2.39).

Os programas denominados NEWRAIO.BAS e NEWTEMP.BAS analisam, respectivamente, os dados relativos à variação do raio e da temperatura na extração da cana de açúcar.

Programas GRAFRAIO.BAS e GRAFTEMP.BAS

Telas gráficas que consolidam os resultados dos ajustes de dados realizados com os programas NEWRAIO.BAS e NEWTEMP.BAS.

Programa SHOWTELA.BAS

Permite mostrar rapidamente as telas gráficas GRAFRAIO.BAS e GRAFTEMP.BAS e daqueles obtidos com o uso dos programas CRANKR.BAS e CRANKT.BAS.

8.2 PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DOS ESTÁGIOS NA EXTRAÇÃO CONTÍNUA PELO MÉTODO DO DIAGRAMA TRIANGULAR.

Conhecidas as composições dos materiais que entram e saem do extrator sólido-líquido, pode-se proceder ao cálculo das composições e do número de estágios necessários.

E também pode-se fazer o cálculo das relações mássicas que se estabelecem entre os insumos e os produtos na operação contínua de um extrator do tipo fluxos em contra-corrente (principalmente as relações A/C e E/M).

Procedimento:

O extrato final provém de uma mistura indicada na figura 8.1 como ponto Z, que implica um equilíbrio perfeito entre o sólido S_0 (a matéria prima) e o líquido L_2 (o caldo que entra em contato com a matéria prima na última tina do difusor).

A separação dessa mistura Z por drenagem, que resulta em uma fase sólida (S_1) e em uma fase líquida (L_1) é mostrada na figura pelas setas Z_m e Z_e , que correm em sentidos opostos na mesma linha reta de centro na origem (0,0), reta que é chamada de linha de drenagem e que corresponde a pontos com concentração de caldo constante e conteúdo de fibra variável.

A interseção da reta de drenagem com a curva de equilíbrio define o ponto S_1 , de coordenadas $X_{s,m1}$ e $X_{a,m1}$, e a interseção da reta de drenagem com a linha dos extratos ou líquidos escorridos ($X_f=0$) corresponde à composição do extrato final (E), neste caso chamado de L_1 , de coordenadas $Y_{s,e1}$ e $Y_{a,e1}$.

Para prosseguir no cálculo da composição do extrato imediatamente anterior (L_2), precisamos de outra ferramenta, conhecida como "regra da adição das misturas", que nos diz que os somandos e a somatória, em uma adição de misturas com três componentes estão na mesma linha reta [Foust et alli, 1980; Brennan et alli, 1976].

Apresenta-se a seguir um resumo da regra da adição das misturas que usaremos nos cálculos da extração sólido-líquido contínua em contra-corrente:

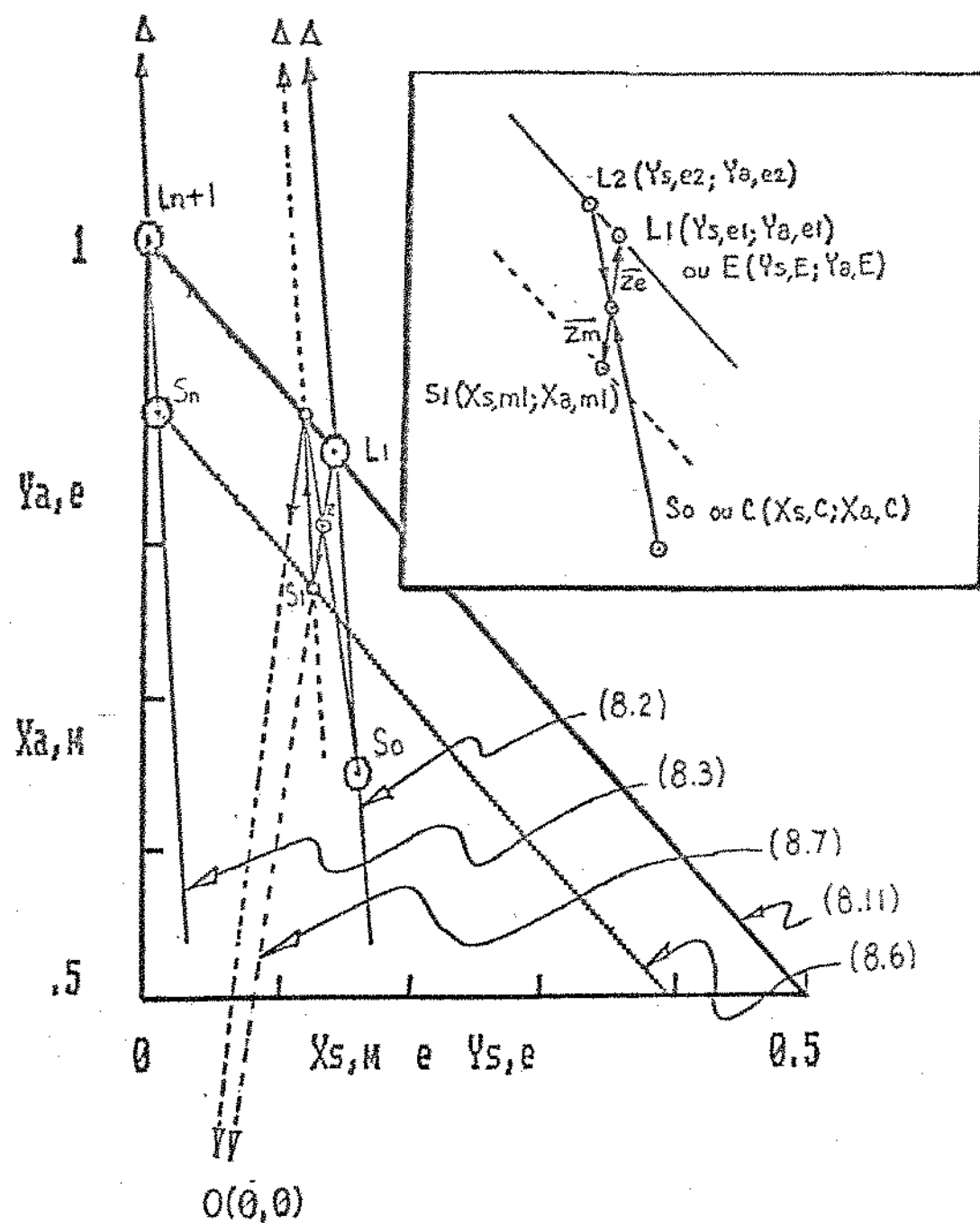


Figura 8.1

Cálculo gráfico do primeiro estágio ideal do extrator sólido-líquido.

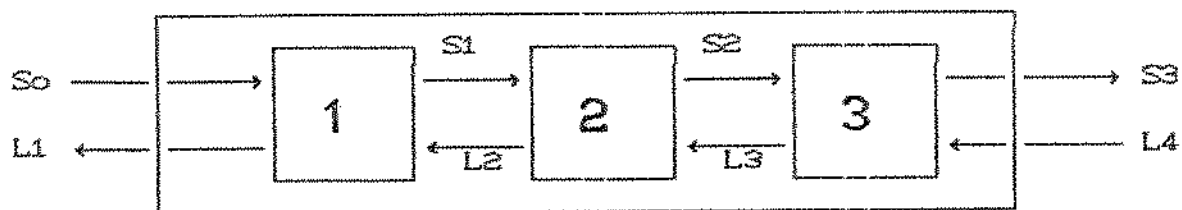


Figura 8.2 Esquema de um extrator de três estágios em contracorrente.

Fazendo um
balanço de massa
em cada estágio:

Rearranjando
os termos:

Identificamos
uma diferença
constante:

$S_0 + L_2 = S_1 + L_1$	$S_0 - L_1 = S_1 - L_2$	$= \Delta$
$S_1 + L_3 = S_2 + L_2$	$S_1 - L_2 = S_2 - L_3$	$= \Delta$
$S_2 + L_4 = S_3 + L_3$	$S_2 - L_3 = S_3 - L_4$	$= \Delta$

Se: $S_0 - L_1 = \Delta$

Então: $S_1 - L_2 = S_2 - L_3 = S_3 - L_4 = \Delta$

Δ pode ser um número positivo ou negativo.

Podemos considerar $\Delta = -\Delta$ para facilitar os cálculos posteriores e a visualização do processo.

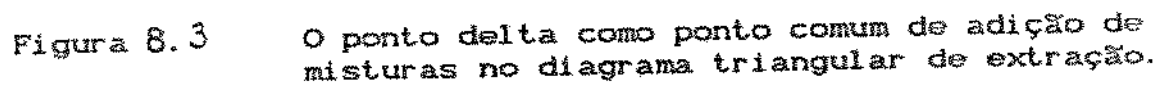
Rearranjando novamente:

$$\begin{aligned}\Delta + S_0 &= L_1 \\ \Delta + S_1 &= L_2 \\ \Delta + S_2 &= L_3 \\ \Delta + S_3 &= L_4\end{aligned}$$

Generalizando: $\Delta + S_{n-1} = L_n$ (8.1)

Podemos ver no diagrama triangular de extração a interpretação gráfica da adição da mistura Δ com a mistura S_{n-1} para obter a mistura L_n . Ver figura 8.3.

Vemos que o conjunto de pontos S_{n-1} e L_n estão em linhas retas que passam pelo ponto Δ portanto esse ponto atua como um foco irradiador de linhas de adição de misturas, sejam estas reais ou virtuais. Esse ponto pode ser determinado averiguando-se a localização do ponto de cruzamento das retas que unem C com E e M com A.



Retomando o cálculo do primeiro estágio:

-Como S_o , L_1 , S_n final, L_{n+1} final são conhecidos (Cana, Extrato final, Megaço final e Água, respectivamente) podemos localizar A.

Reta Cana-Extrato:

$$y = \frac{Y_{a,E} - X_{a,C}}{Y_{s,E} - X_{s,C}} x + \frac{[(X_{a,C})(Y_{s,E}) - (Y_{a,E})(X_{s,C})]}{(Y_{s,E} - X_{s,C})} \quad (8.2)$$

Reta Megaço-Água:

$$y = 1 + \left[\frac{(1 - X_{a,M})}{(-X_{s,M})} \right] x \quad (8.3)$$

Coordenadas do ponto A:

$$X_p = \frac{1 - \left(\frac{[(X_{a,C})(Y_{s,E}) - (X_{s,C})(Y_{a,E})]}{(Y_{s,E} - X_{s,C})} \right)}{\left(\frac{Y_{a,E} - X_{a,C}}{Y_{s,E} - X_{s,C}} - \left[\frac{(1 - X_{a,M})}{(-X_{s,M})} \right] \right)} \quad (8.4)$$

$$Y_p = 1 + \left[\frac{(1 - X_{a,M})}{(-X_{s,M})} \right] (X_p) \quad (8.5)$$

Conhecidos L_1 , a curva de equilíbrio:

$$y = -x + (1 - X_{f,m}) \quad (8.6)$$

e a linha de drenagem:

$$y = \frac{Y_{a,e1}}{Y_{s,e1}} x \quad (8.7)$$

podemos calcular S_1 , obtendo as coordenadas do ponto de interseção da reta de drenagem e da curva de equilíbrio, isto é:

$$S_1(X_{s,m1}; X_{a,m1})$$

Onde:

$$X_{s,m1} = \frac{(1 - X_{f,m})}{1 + (Y_{a,e1}/Y_{s,e1})} \quad (8.8)$$

$$X_{a,m1} = (1 - X_{f,m}) \left[1 - \frac{1}{1 + (Y_{a,e1}/Y_{s,e1})} \right] \quad (8.9)$$

Como sabemos as coordenadas do ponto focal Δ (X_p, Y_p), podemos obter a equação da reta que une Δ e $S_1(X_{s,m1}, X_{a,m1})$:

$$y = \frac{(Y_p - X_{a,m1})}{(X_p - X_{s,m1})} x + \frac{[(Y_p)(X_{a,m1})] - [(X_p)(X_{s,m1})]}{(X_p - X_{s,m1})} \quad (8.10)$$

A interseção dessa reta com a linha dos líquidos drenados da matriz sólida (que é a hipotenusa do diagrama triangular):

$$y = 1 - x \quad (8.11)$$

nos define o ponto correspondente a L_2 , de coordenadas

$$L_2(X_{s,e2}, Y_{a,e2})$$

Onde:

$$Y_{s,e2} = \frac{\left(1 - \frac{[(Y_p)(X_{s,m1}) - (X_p)(X_{a,m1})]}{(X_{s,m1} - X_p)} \right)}{\left[1 + \frac{(Y_p - X_{a,m1})}{(X_p - X_{s,m1})} \right]} \quad (8.12)$$

$$Y_{a,e2} = 1 - (Y_{s,e2}) \quad (8.13)$$

Determinado L_2 podemos iniciar o cálculo do segundo estágio, repetindo o procedimento matemático empregado no primeiro estágio.

O procedimento será repetido tantas vezes quanto for preciso até que se obtenha um megaço L_n , cujo valor de $X_{s,m}$ seja menor ou igual que o valor de $X_{s,M}$ pré-estabelecido.

Em outras palavras: podemos repetir o procedimento de cálculo N vezes até levar o megaço em processo à composição mínima necessária para ter um rendimento de extração que atenda nosso interesse.

Relações mássicas entre insumos e produtos:

Nos cálculos existem variáveis em que se pode atuar, mudando seus valores, e outras fixas ou determinadas externamente, nas quais não é possível fazer modificações, assim podemos ver que:

A composição de A é fixa. Esta é uma restrição existente no procedimento empregado, porém poderá ser superada no futuro fazendo nele as alterações necessárias.

A composição de C varia conforme a época de colheita e pode variar de hora em hora, pois os lotes de cana não são homogêneos.

O procedimento de cálculo nos permite fixar os valores referentes ao ponto E, conforme nossa conveniência, dentro de certo intervalo de valores aceitáveis.

O procedimento de cálculo permite fixar o ponto M correspondente ao resíduo sólido, através da suposição do rendimento efetivo (HD) e da relação (M/C) fatível de ocorrer no equipamento.

O estabelecimento prévio dos pontos C, A, E, M no diagrama triangular, nos permite usar a "regra da alavanca inversa" na teoria da extração sólido-líquido, para determinar a massa relativa a cada uma dessas correntes. Ver figura 8.4.

No diagrama triangular pode-se observar que o ponto K resultante da união das correntes C e A, é gerador dos produtos M e E. Existe uma proporcionalidade direta entre o tamanho do segmento e a massa das correntes:

$$C \propto \overline{AK}$$

$$A \propto \overline{CK}$$

$$E \propto \overline{MK}$$

$$M \propto \overline{EK}$$

Assim sendo:

$$\frac{A}{C} = \frac{\overline{CK}}{\overline{AK}} \quad (8.14)$$

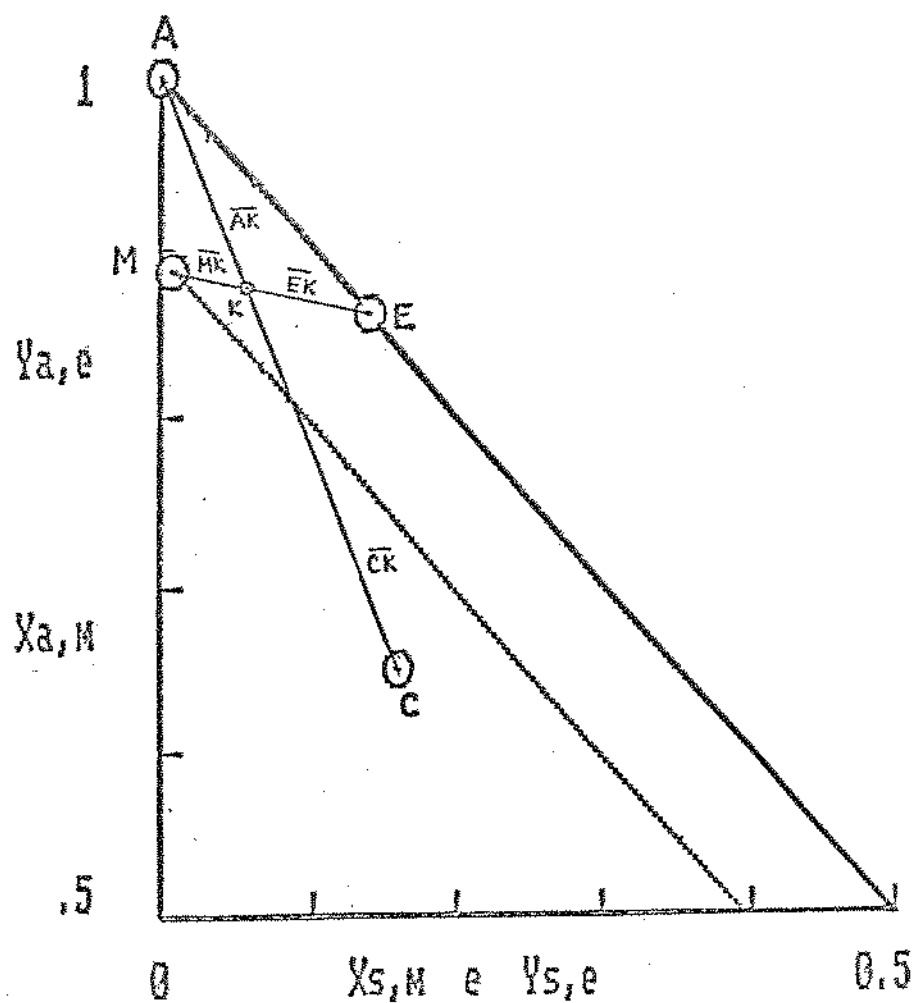


Figura 8.4

A regra da alavanca inversa aplicada ao método do diagrama triangular, como método de cálculo para determinar as proporções mássicas dos insumos e dos produtos na extração sólido-líquido.

$$\frac{M}{E} = \frac{EK}{MK} \quad (8.15)$$

Podemos agora aproveitar as relações (8.14) e (8.15),

o balanço global colocado na forma:
$$\frac{A}{C} + \frac{C}{C} = \frac{E}{C} + \frac{M}{C}$$

e considerar $C = 1$, para chegar a uma expressão que nos permite o cálculo da massa de extrato final (E):

$$E = \frac{(A/C) + 1}{(M/E) + 1} = \frac{[(CK/AK) + 1]}{[(MK/EK) + 1]} \quad (8.16)$$

A massa de megaço final (M) resulta da relação:

$$M = E \times \frac{EK}{MK} \quad (8.17)$$

Cálculo auxiliado por computador:

O procedimento de cálculo exposto permitiu elaborar um programa de cálculo computacional, tendo como saída o diagrama triangular, mostrando nele os pontos correspondentes às correntes de entrada (C,A) e de saída (E,M) do difusor e um tracejado unindo os pontos dos sólidos drenados e dos líquidos trafegados à maneira que se faz no cálculo gráfico de estágios.

Também podem ser mostrados na saída gráfica do programa os resultados do cálculo das massas de solvente, extrato e megaço relativas a uma unidade mássica de matéria-prima. Ver figura 8.5.

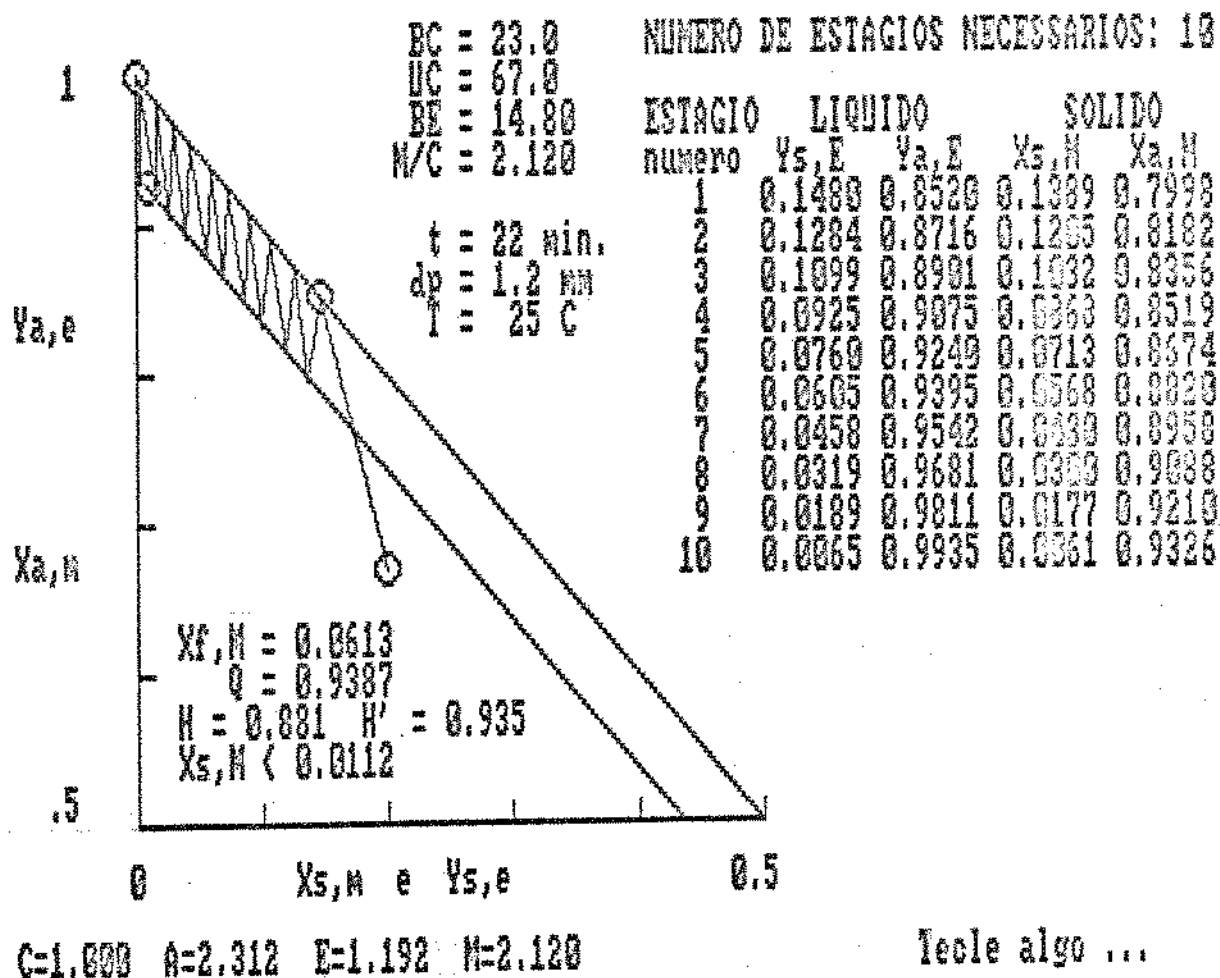


Figura 8.5

Imagem dos resultados do programa de simulação, obtidos na tela do monitor e na impressora gráfica.

```

100 ' Programa difsvdel.bas GW-Basic 24-8-89 E. Ortega
105 ' -----
110 ' CALCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA POR AJUSTE DE DADOS:
115 ' O programa calcula o rendimento da extracao em funcao do tempo
120 ' para valores especificados de ALFA e da difusividade efetiva "De"
125 ' na extracao com agua, em batelada, de particulas de cana de acucar
130 ' de pequeno tamanho, consideradas esfericas
135 ' -----
138 CLS:LOCATE 12,20:PRINT "PROCESSANDO CALCULOS.....AGUARDE!"
140 ' Dimensionamento das variaveis
145 NN=30
150 DIM X(NN),Y(NN),XS(NN),YY(NN),ZZ(NN)
155 DIM QN(NN+1),SN(NN),CN(NN),FICK(NN),U(NN)
160 K=7
165 DIM X1(K),Y1(K),AA(K),OO(K)
170 ' Preparacao da impressora
175 'LPRINT CHR$(15)
180 '
185 ' Entrada de dados iniciais:
190 ' -----
195 ALFA=2.9:R=.0005:DE=1.2501E-10:L5=.80:N=30: K=7:TE=23:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.85,5,.89,10,.93,15,.94,20,.945,30,.95
200 'ALFA=2.9:R=.0006:DE=1.5001E-10:L5=.86:N=30: K=7:TE=23:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.80,5,.86,10,.91,15,.92,20,.925,30,.93
205 'ALFA=2.9:R=.0008:DE=2.0001E-10:L5=.805:N=30: K=7:TE=23:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.73,5,.81,10,.85,15,.86,20,.875,30,.885
210 'ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.401E-10:L5=.77 :N=30: K=7:TE=23:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.7,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.85
215 'ALFA=2.9:R=.00125:DE=2.801E-10:L5=.69 :N=30: K=7:TE=23:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.625,5,.69,10,.75,15,.77,20,.79,30,.80
220 ' -----
225 'ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.301E-10:L5=.77:TE=23 :N=30: K=7:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.70,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.85
230 'ALFA=2.9:R=.00095:DE=3.101E-10:L5=.81:TE=30 :N=30: K=7:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.79,5,.81,10,.84,15,.86,20,.87,30,.87
235 'ALFA=2.9:R=.00095:DE=3.3501E-10:L5=.82:TE=40 :N=30: K=7:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.80,5,.82,10,.85,15,.87,20,.880,30,.890
240 'ALFA=2.9:R=.00095:DE=4.3001E-10:L5=.86:TE=50 :N=30: K=7:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.84,5,.87,10,.885,15,.890,20,.910,30,.920
245 'ALFA=2.9:R=.00095:DE=6.301E-10:L5=.905:TE=60 :N=30: K=7:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.900,5,.93,10,.94,15,.95,20,.96,30,.965
250 'ALFA=2.9:R=.00095:DE=4.401E-10:L5=.87:TE=70 :N=30: K=7:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.84,5,.87,10,.920,15,.920,20,.950,30,.950
255 'ALFA=2.9:R=.00095:DE=5.151E-10:L5=.88:TE=80 :N=30: K=7:W=&HFFFF: DATA
0,0,3,.87,5,.91,10,.920,15,.950,20,.960,30,.965
260 ' -----
265 ' Obtencao dos valores de qn
270 J=1
275 Q=1.6
280 'PRINT "Para alfa=":ALFA
285 'PRINT "n","qn"
290 F=TAN(Q)-3*Q/(3+ALFA*(Q^2))
295 FL=(1/COS(Q))^2+(3*ALFA*(Q^2)-9)/((3+ALFA*(Q^2))^2)
300 A=Q

```

```

305 Q=A-F/FL
310 B=ABS(Q-A)
315 C=B/Q
320 IF C<9.999999E-05 GOTO 330
325 GOTO 290
330 QN(J)=Q
335 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
340 J=J+1
345 IF J>N GOTO 360
350 Q=Q+3.15
355 GOTO 290
360 'LPRINT"calculo do grau de extracao vs tempo"
365 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA
370 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "grau de extracao"
375 FOR T=1 TO 30 STEP 1
380 ST=0
385 FOR I=1 TO 30
390 FICK(I)=DE*(QN(I)^2)*60*(T)/(R^2)
395 QN(I)=6*ALFA*(1+ALFA)/(9+9*ALFA+(QN(I)*ALFA)^2)
400 SN(I)=QN(I)*EXP(-FICK(I))
405 ST=ST+SN(I)
410 NEXT I
415 U(T)=1-ST
420 'LPRINT TAB(10);T;
425 'LPRINT TAB(20) USING "###.##";FICK(N);
430 'LPRINT TAB(30) USING "#.###";U(T)
435 NEXT T
440 '
445 BEEP:LOCATE 23,1:PRINT"Deseja limpar a tela (S/N)? ":
450 W$=INKEY$:IF W$="" THEN 450
455 IF W$="S" OR W$="s" THEN 480
460 IF W$="N" OR W$="n" THEN 485 ELSE 445
465 '
470 'LPRINT CHR$(10):LPRINT CHR$(10)
475 '
480 CLS
485 '
490 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
495 '
500 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=0: YMAX=1:L1=1
505 '----- EQUACAO -----
510 FOR I=1 TO 30:X(I)=I-1+L1:NEXT I
515 FOR I=1 TO 30:Y(I)=U(I):NEXT I
520 '----- ETIQUETAS -----
525 XX0=(XMIN+XMAX)/10:XX0=(XMIN+XMAX)/6
530 XX1=(XMIN+XMAX)/3:XX2=(XMIN+XMAX)/2: XX3=(XMIN+XMAX)/(3/2)
535 YY3=(YMIN+YMAX)/2
540 A$="TEMPO (MIN)"
545 B$="GRAU DE EXTRACAO"
550 '----- ESCALAS -----
555 FOR I=0 TO N
560 YX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
565 YY(I)=10*(Y(I)-YMIN)/(YMAX-YMIN)
570 NEXT I
575 '----- TELA GRAFICA -----

```

```

580 SCREEN 2 : WIDTH 80
585 '----- VALORES E MARCAS -----
590 G=2HAAAA
595 FOR I=150 TO 450 STEP 10
600 LINE (I,145)-(I,150)
605 IF I=150 THEN LOCATE 20,19-LEN(STR$(XMIN))/2 : PRINT XMIN:
610 IF I=180 THEN LOCATE 20,23-LEN(STR$(XX00))/2 : PRINT XX00:
615 IF I=200 THEN LOCATE 20,26-LEN(STR$(XX0))/2 : PRINT XX0:
620 LINE (200,0)-(200,150),,G
625 IF I=250 THEN LOCATE 20,32-LEN(STR$(XX1))/2 : PRINT XX1:
630 LINE (250,0)-(250,150),,G
635 IF I=300 THEN LOCATE 20,38-LEN(STR$(XX2))/2 : PRINT XX2:
640 IF I=350 THEN LOCATE 20,44-LEN(STR$(XX3))/2 : PRINT XX3:
645 LINE (350,0)-(350,150),,G
650 IF I=450 THEN LOCATE 20,57-LEN(STR$(XMAX))/2 : PRINT XMAX:
655 NEXT I
660 FOR I=0 TO 150 STEP 15
665 LINE (150,I)-(160,I)
670 IF I=0 THEN LOCATE 1,19-LEN(STR$(YMAX)) : PRINT YMAX:
675 IF I=75 THEN LOCATE 10,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YY3:
680 IF I=150 THEN LOCATE 19,19-LEN(STR$(YMIN)) : PRINT YMIN:
685 NEXT
690 FOR I=30 TO 120 STEP 30
695 IF I=30 THEN LINE (150,30)-(450,30),,G
700 IF I=60 THEN LINE (150,60)-(450,60),,G
705 IF I=90 THEN LINE (150,90)-(450,90),,G
710 IF I=120 THEN LINE (150,120)-(450,120),,G
715 NEXT I
720 '----- MARCO -----
725 LINE (150,0)-(450,150),1,B
730 '----- LEGENDAS -----
735 LOCATE 20,(68-LEN(A$))/2:PRINT A$
740 P=LEN(B$)
745 FOR I=1 TO P
750 LOCATE(10+I-P/2),13
755 V$=MID$(B$,I,1)
760 PRINT V$
765 NEXT I
770 '----- PONTOS EXPERIMENTAIS -----
775 K=7: ' Numero de pares de dados experimentais (ver linha 191)
780 FOR I=1 TO K
785 READ X1(I),Y1(I):
790 AA(I)=10*(X1(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN):OO(I)=10*(Y1(I)-YMIN)/(YMAX-YMIN)
795 CIRCLE(AA(I)*30+150,150-OO(I)*15),5,,,,.5
800 PSET(AA(I)*30+150,150-OO(I)*15)
805 PSET(AA(I)*30+151,150-OO(I)*15)
810 PSET(AA(I)*30+149,150-OO(I)*15)
815 PSET(AA(I)*30+150,151-OO(I)*15)
820 PSET(AA(I)*30+150,149-OO(I)*15)
825 NEXT I
830 '
835 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
840 FOR I=1 TO INT(XMAX-XMIN)-1
845 LINE (XX(I)*30+150,150-YY(I)*15)-(XX(I+1)*30+150,150-YY(I+1)*15),,W
850 NEXT I

```

```

855 '
860 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
865 LOCATE 2,60:PRINT "T= ";TE;" C"
870 LOCATE 3,60:PRINT "Primeira fase t<5"
875 LOCATE 4,60:PRINT "Y=1-SICI*e-FICKI)"
880 LOCATE 5,60:PRINT "De =":DE
885 LOCATE 6,60:PRINT "raio=":R
890 LOCATE 7,60:PRINT "alfa=":ALFA
895 LOCATE 9,61:PRINT X(3);Y(3)
900 LOCATE 10,61:PRINT X(5);Y(5)
905 LOCATE 11,60:PRINT X(10);Y(10)
910 LOCATE 12,60:PRINT X(15);Y(15)
915 LOCATE 13,60:PRINT X(20);Y(20)
920 LOCATE 14,60:PRINT X(30);Y(30)
925 KEY OFF
930 LOCATE 21,1 :LIST 195

```

```

100 ' Programa difsvde2.bas
105 ' -----
110 ' CALCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA POR AJUSTE DE DADOS:
115 ' O programa calcula o rendimento da extracao em funcao do tempo
120 ' para valores especificados de ALFA e da difusividade efetiva "De"
125 ' na extracao com agua, em batelada, de particulas de cana de acucar
130 ' de pequeno tamanho, consideradas esfericas
135 ' -----
138 CLS :LOCATE 12,20:PRINT "PROCESSANDO CALCULOS....AGUARDE!"
140 ' Dimensionamento das variaveis
145 NN=30
150 DIM X(NN),Y(NN),XX(NN),YY(NN),ZZ(NN)
155 DIM QN(NN+1),SN(NN),CN(NN),FICK(NN),U(NN)
160 K=7
165 DIM X1(K),Y1(K),AA(K),OO(K)
170 ' Preparacao da impressora
175 'LPRINT CHR$(15)
180 '
185 ' Entrada de dados iniciais:
190 ALFA=2.9:R=.0005:DE=5.5001E-14:      :N=30: K=7:LL=.77:      DATA
0,0,3,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.85
195 ' Obtencao dos valores de qn
200 J=1
205 Q=1.6
210 'PRINT "Para alfa=";ALFA
215 'PRINT "n","qn"
220 F=TAN(Q)-3*Q/(3+ALFA*(Q^2))
225 FL=(1/COS(Q))^2+(3*ALFA*(Q^2)-9)/((3+ALFA*(Q^2))^2)
230 A=Q
235 Q=A-F/FL
240 B=ABS(Q-A)
245 C=B/Q
250 IF C<=9.999999E-05 GOTO 260
255 GOTO 220
260 QN(J)=Q
265 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
270 J=J+1
275 IF J>N GOTO 290
280 Q=Q+3.15
285 GOTO 220
290 'LPRINT"calcula do grau de extracao vs tempo"
295 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA
300 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
305 FOR T=5 TO 30 STEP 1
310 ST=0
315 FOR I=1 TO 30
320 FICK(I)=DE*(QN(I)^2)*60*(T-5)/(R^2)
325 CN(I)=6*ALFA*(1+ALFA)/(9+9*ALFA+(QN(I)*ALFA)^2)
330 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
335 ST=ST+SN(I)
340 NEXT I
345 U(T)=1+LL-ST
350 'LPRINT TAB(10);T;
355 'LPRINT TAB(20) USING "###.##":FICK(N);

```



```

360 'LPRINT TAB(30) USING "#.###";U(T)
365 NEXT T
370 '
375 LOCATE 23,1:PRINT"Deseja limpar a tela (S/N)? ":
380 W$=INKEY$:IF W$="" THEN 380
385 IF W$="S" OR W$="s" THEN 410
390 IF W$="N" OR W$="n" THEN 415
395 ELSE 375
400 'LPRINT CHR$(10):LPRINT CHR$(10)
405 '
410 CLS
415 '
420 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
425 '
430 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=0: YMAX=1:L1=1
435 '----- EQUACAO -----
440 FOR I=5 TO 30:X(I)=I-1+L1:NEXT I
445 FOR I=5 TO 30:Y(I)=U(I):NEXT I
450 '----- ETIQUETAS -----
455 XX00=(XMIN+XMAX)/10:XX0=(XMIN+XMAX)/6
460 XX1=(XMIN+XMAX)/3:XX2=(XMIN+XMAX)/2: XX3=(XMIN+XMAX)/(3/2)
465 YY3=(YMIN+YMAX)/2
470 A$="TEMPO (MIN)"
475 B$="GRAU DE EXTRACAO"
480 '----- ESCALAS -----
485 FOR I=0 TO N
490   XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
495   YY(I)=10*(Y(I)-YMIN)/(YMAX-YMIN)
500 NEXT I
505 '----- TELA GRAFICA -----
510 SCREEN 2 : WIDTH 80
515 '----- VALORES E MARCAS -----
520 G=$HAAAA
525 FOR I=150 TO 450 STEP 10
530   LINE (I,145)-(I,150)
535   IF I=150 THEN LOCATE 20,19-LEN(STR$(XMIN))/2 : PRINT XMIN:
540   IF I=180 THEN LOCATE 20,23-LEN(STR$(XX00))/2 : PRINT XX00:
545   IF I=200 THEN LOCATE 20,26-LEN(STR$(XX0))/2 : PRINT XX0:
550   LINE (200,0)-(200,150),,,G
555   IF I=250 THEN LOCATE 20,32-LEN(STR$(XX1))/2 : PRINT XX1:
560   LINE (250,0)-(250,150),,,G
565   IF I=300 THEN LOCATE 20,38-LEN(STR$(XX2))/2 : PRINT XX2:
570   IF I=350 THEN LOCATE 20,44-LEN(STR$(XX3))/2 : PRINT XX3:
575   LINE (350,0)-(350,150),,,G
580   IF I=450 THEN LOCATE 20,57-LEN(STR$(XMAX))/2 : PRINT XMAX:
585 NEXT I
590 FOR I=0 TO 150 STEP 15
595   LINE (150,I)-(160,I)
600   IF I=0 THEN LOCATE 1,19-LEN(STR$(YMAX)) : PRINT YMAX:
605   IF I=75 THEN LOCATE 10,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YY3:
610   IF I=150 THEN LOCATE 19,19-LEN(STR$(YMIN)) : PRINT YMIN:
615 NEXT
620 FOR I=30 TO 120 STEP 30
625   IF I=30 THEN LINE (150,30)-(450,30),,,G
630   IF I=60 THEN LINE (150,60)-(450,60),,,G

```

```

635 IF I=90 THEN LINE (150,90)-(450,90),,G
640 IF I=120 THEN LINE (150,120)-(450,120),,G
645 NEXT I
650 '----- MARCO -----
655 LINE (150,0)-(450,150),1,B
660 '----- LEGENDAS -----
665 LOCATE 20,(65-LEN(A$)/2):PRINT A$
670 P=LEN(B$)
675 FOR I=1 TO P
680 LOCATE(10+I-P/2),13
685 V$=MID$(B$,I,1)
690 PRINT V$
695 NEXT I
700 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
705 W=8#KAAAA
710 FOR I=5 TO INT(XMAX-XMIN)-1
715 LINE (XX(I)*30+150,150-YY(I)*15)-(XX(I+1)*30+150,150-YY(I+1)*15),,W
720 NEXT I
725 '----- PONTOS EXPERIMENTAIS -----
730 K=7: ' Numero de pares de dados experimentais (ver linha 161)
735 FOR I=1 TO K
740 READ X1(I),Y1(I):
745 AA(I)=10*(X1(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN):OO(I)=10*(Y1(I)-YMIN)/(YMAX-YMIN)
750 CIRCLE(AA(I)*30+150,150-OO(I)*15),5,,,5/12
752 PSET(AA(I)*30+150,150-OO(I)*15)
755 PSET(AA(I)*30+151,150-OO(I)*15)
760 PSET(AA(I)*30+149,150-OO(I)*15)
765 PSET(AA(I)*30+150,151-OO(I)*15)
770 PSET(AA(I)*30+150,149-OO(I)*15)
775 NEXT I
780 'DATA 0,0.2,3,0.75,5,0.85,10,0.9
785 'DATA 15,0.92,20,0.94,30,0.95
790 'DATA
795 'DATA
800 '
805 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
810 LOCATE 2,60:PRINT "T= 23 C"
815 LOCATE 3,60:PRINT "Segunda fase t>5"
820 LOCATE 4,60:PRINT "Y=1-SICI*e-FICKI"
825 LOCATE 5,60:PRINT "De =":DE
830 LOCATE 6,60:PRINT "raio=":R
835 LOCATE 7,60:PRINT "alfa=":ALFA
840 '
845 LOCATE 10,61:PRINT X(5):Y(5)
850 LOCATE 11,60:PRINT X(10):Y(10)
855 LOCATE 12,60:PRINT X(15):Y(15)
860 LOCATE 13,60:PRINT X(20):Y(20)
865 LOCATE 14,60:PRINT X(30):Y(30)
870 KEY OFF
875 LOCATE 21,1 :LIST 190

```

```

10 ' Programa CRANKR.BAS GW-Basic 12-11-89 E. Ortega
20 ' -----
30 ' CALCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA POR AJUSTE DE DADOS:
40 '
50 ' O programa calcula o rendimento da extracao em funcao do tempo
60 ' para valores especificados de alfa e da difusividade efetiva
70 ' livre "De" ate um certo valor de tempo de lavagem (4 minutos)
80 ' depois disso calcula o rendimento empregando um outro valor
90 ' da difusividade efectiva impedida que denominamos "Df",
100 ' na extracao com agua, em batelada, de particulas de cana de acucar
110 ' de pequeno tamanho, consideradas esfericas
120 '
130 ' -----
140 ' Dimensionamento das variaveis
150 NN=30
160 DIM X(NN),Y(NN),XX(NN),YY(NN),ZZ(NN)
170 DIM QN(NN+1),SN(NN),CN(NN),FICK(NN),U(NN+1),V(NN+1)
180 K=7
190 DIM X1(K),Y1(K),AA(K),OO(K)
200 ' -----
210 CLS:KEY OFF
220 ' -----
230 ' dados experimentais
240 '
250 GOSUB 2540:GOTO 310
260 GOSUB 2550:GOTO 310
270 GOSUB 2560:GOTO 310
280 GOSUB 2570:GOTO 310
290 GOSUB 2580:GOTO 310
300 '
310 ' -----
320 ' Aviso na tela
330 LOCATE 23,1:PRINT "Calculos da primeira fase de extracao....aguarde!";
340 PRINT " R=";R;"T=";TE;" t<4 min."
350 ' -----
360 '
370 ' Obtencao dos valores de qn
380 J=1
390 Q=1.6
400 'PRINT "Para alfa=";ALFA
410 'PRINT "n","qn"
420 F=TAN(Q)-3*Q/(3+ALFA*(Q^2))
430 FL=(1/COS(Q))^2+(3*ALFA*(Q^2)-9)/((3+ALFA*(Q^2))^2)
440 A=Q
450 Q=A-F/FL
460 B=ABS(Q-A)
470 C=B/Q
480 IF C<=9.999999E-05 GOTO 500
490 GOTO 420
500 QN(J)=Q
510 'PRINT J,QN(J);' impressao opcional dos valores de qn
520 J=J+1
530 IF J>N GOTO 560
540 Q=Q+3.15
550 GOTO 420

```

```

560 'LPRINT "calcula do grau de extracao vs tempo"
570 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA
580 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
590 FOR T=1 TO 30 STEP 1
600 ST=0
610 FOR I=1 TO 30
620 FICK(I)=DE*(QN(I)^2)*60*(T)/(R^2)
630 CN(I)=6*ALFA*(1+ALFA)/(9+9*ALFA+(QN(I)*ALFA)^2)
640 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
650 ST=ST+SN(I)
660 NEXT I
670 U(T)=1-ST
680 'LPRINT TAB(10);T;
690 'LPRINT TAB(20) USING "###.##";FICK(N);
700 'LPRINT TAB(30) USING "#.###";U(T)
710 NEXT T
720 '
730 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
740 '
750 'LPRINT CHR$(10):LPRINT CHR$(10)
760 '
770 '
780 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
790 '
800 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=.5: YMAX=1:L1=1
810 '----- EQUACAO -----
820 FOR I=1 TO 30:X(I)=I-1+L1:NEXT I
830 FOR I=1 TO 30:Y(I)=U(I):NEXT I
840 '----- ETIQUETAS -----
850 XX00=(XMIN+XMAX)/10:XX0=(XMIN+XMAX)/6
860 XX1=(XMIN+XMAX)/3:XX2=(XMIN+XMAX)/2: XX3=(XMIN+XMAX)/(3/2)
870 YY3=(YMIN+YMAX)/2
880 A$="TEMPO (MIN)"
890 B$="GRAU DE EXTRACAO"
900 '----- ESCALAS -----
910 FOR I=0 TO N
920 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
930 YY(I)=10*(Y(I))/(YMAX)
940 NEXT I
950 '----- TELA GRAFICA -----
960 SCREEN 2 : WIDTH 80
970 '----- VALORES E MARCAS -----
980 G=6HAAAA
990 FOR I=150 TO 450 STEP 10
1000 LINE (I,145)-(I,150)
1010 IF I=150 THEN LOCATE 20,19-LEN(STR$(XMIN))/2 : PRINT XMIN;
1020 IF I=180 THEN LOCATE 20,23-LEN(STR$(XX00))/2 : PRINT XX00;
1030 IF I=200 THEN LOCATE 20,26-LEN(STR$(XX0))/2 : PRINT XX0;
1040 LINE (200,0)-(200,150),,,6
1050 IF I=250 THEN LOCATE 20,32-LEN(STR$(XX1))/2 : PRINT XX1;
1060 LINE (250,0)-(250,150),,,6
1070 IF I=300 THEN LOCATE 20,38-LEN(STR$(XX2))/2 : PRINT XX2;
1080 IF I=350 THEN LOCATE 20,44-LEN(STR$(XX3))/2 : PRINT XX3;
1090 LINE (350,0)-(350,150),,,6
1100 IF I=450 THEN LOCATE 20,57-LEN(STR$(XMAX))/2 : PRINT XMAX;

```

```

1110 NEXT I
1120 FOR I=0 TO 150 STEP 15
1130 LINE (150,I)-(160,I)
1140 IF I=0 THEN LOCATE 1,18-LEN(STR$(YMAX)) : PRINT YMAX;
1150 IF I=30 THEN LOCATE 4,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.9
1160 IF I=60 THEN LOCATE 8,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.8
1170 IF I=90 THEN LOCATE 12,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.7
1180 IF I=120 THEN LOCATE 16,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.6
1190 IF I=150 THEN LOCATE 19,18-LEN(STR$(YMIN)) : PRINT YMIN;
1200 NEXT
1210 FOR I=30 TO 120 STEP 30
1220 IF I=30 THEN LINE (150,30)-(450,30),,,6
1230 IF I=60 THEN LINE (150,60)-(450,60),,,6
1240 IF I=90 THEN LINE (150,90)-(450,90),,,6
1250 IF I=120 THEN LINE (150,120)-(450,120),,,6
1260 NEXT I
1270 '----- MARCO -----
1280 LINE (150,0)-(450,150),1,B
1290 '----- LEGENDAS -----
1300 LOCATE 20,(60-LEN(A#)/2):PRINT A#
1310 P=LEN(B#)
1320 FOR I=1 TO P
1330 LOCATE(10+I-P/2),11
1340 V$=MID$(B#,I,1)
1350 PRINT V$
1360 NEXT I
1370 '----- PONTOS EXPERIMENTAIS -----
1380 K=6: ' Numero de pares de dados experimentais (ver linha 191)
1390 FOR I=1 TO K
1400 READ X1(I),Y1(I):
1410 AA(I)=10*(X1(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN):DO(I)=10*(Y1(I))/(YMAX)
1420 CIRCLE(AA(I)*30+150,300-DO(I)*30),5,,,,.5
1430 PSET(AA(I)*30+150,300-DO(I)*30)
1440 PSET(AA(I)*30+151,300-DO(I)*30)
1450 PSET(AA(I)*30+149,300-DO(I)*30)
1460 PSET(AA(I)*30+150,301-DO(I)*30)
1470 PSET(AA(I)*30+150,299-DO(I)*30)
1480 NEXT I
1490 '
1500 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
1510 FOR I=1 TO 3
1520 LINE (XX(I)*30+150,300-YY(I)*30)-(XX(I+1)*30+150,300-YY(I+1)*30),,W
1530 NEXT I
1540 '
1550 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
1560 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
1570 LOCATE 2,60:PRINT "Y=1-S(Ci*e-FICKi)"
1580 LOCATE 4,60:PRINT "T =":TE
1590 LOCATE 5,60:PRINT "raio=":R
1600 LOCATE 6,60:PRINT "De =":DE
1610 LOCATE 7,60:PRINT "Df =":DF
1620 LOCATE 8,60:PRINT "alfa=":ALFA
1630 LOCATE 12,61:PRINT X(3);Y(3)
1640 LOCATE 13,61:PRINT X(5);Y(5)
1650 LOCATE 14,60:PRINT X(10);Y(10)

```

```

1660 LOCATE 15,60:PRINT X(15);Y(15)
1670 LOCATE 16,60:PRINT X(20);Y(20)
1680 LOCATE 17,60:PRINT X(30);Y(30)
1690 '-----
1700 KEY OFF
1710 LOCATE 23,1:PRINT "Calculos da segunda fase de extracao.....aguarde!";
1720 PRINT " R=";R;"T=";TE;" t>4 min."
1730 '-----
1740 '  Obtencao dos valores de qn
1750 J=1
1760 Q=1.6
1770 'LPRINT Para alfa=";ALFA
1780 'LPRINT "n","qn"
1790 F=TAN(Q)-3*Q/(3+ALFA*(Q^2))
1800 FL=(1/COS(Q))^2+(3*ALFA*(Q^2)-9)/((3+ALFA*(Q^2))^2)
1810 A=Q
1820 Q=A-F/FL
1830 B=ABS(Q-A)
1840 C=B/Q
1850 IF C<=9.999999E-05 GOTO 1870
1860 GOTO 1790
1870 QN(J)=Q
1880 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
1890 J=J+1
1900 IF J>N GOTO 1930
1910 Q=Q+3.15
1920 GOTO 1790
1930 'LPRINT"calculos do grau de extracao vs tempo"
1940 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA
1950 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
1960 '
1970 FOR T=4 TO 30 STEP 1
1980 ST=0
1990 FOR I=1 TO 30
2000 FICK(I)=BF*(QN(I)^2)*60*(T-5)/(R^2)
2010 CN(I)=6*ALFA*(1+ALFA)/(9+9*ALFA+(QN(I)*ALFA)^2)
2020 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
2030 ST=ST+SN(I)
2040 NEXT I
2050 V(T)=1+U(4)-ST
2060 'LPRINT TAB(10);T;
2070 'LPRINT TAB(20) USING "###.##";FICK(N);
2080 'LPRINT TAB(30) USING "%.###";V(T)
2090 NEXT T
2100 '
2110 'LPRINT CHR$(10):LPRINT CHR$(10)
2120 BEEP
2130 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
2140 '
2150 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=.5: YMAX=1:L1=1
2160 '----- EQUACAO -----
2170 FOR I=5 TO 30:X(I)=I-1:L1:NEXT I
2180 FOR I=5 TO 30:Y(I)=V(I):NEXT I
2190 '----- ESCALAS -----
2200 FOR I=5 TO N

```

```

2210 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
2220 YY(I)=10*(Y(I))/(YMAX)
2230 NEXT I
2240 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
2250 FOR I=4 TO INT(XMAX-XMIN)-1
2260 LINE (XX(I)*30+150,300-YY(I)*30)-(XX(I+1)*30+150,300-YY(I+1)*30),,W
2270 NEXT I
2280 '
2290 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
2300 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
2310 LOCATE 2,60:PRINT "Y=1-SICI*e-FICK(I)"
2320 LOCATE 4,60:PRINT "T=";TE
2330 LOCATE 5,60:PRINT "raio=";R
2340 LOCATE 6,60:PRINT "De=";DE
2350 LOCATE 7,60:PRINT "Df=";DF
2360 LOCATE 8,60:PRINT "alfa=";ALFA
2370 LOCATE 12,61:PRINT X(3);Y(3)
2380 LOCATE 13,61:PRINT X(5);Y(5)
2390 LOCATE 14,60:PRINT X(10);Y(10)
2400 LOCATE 15,60:PRINT X(15);Y(15)
2410 LOCATE 16,60:PRINT X(20);Y(20)
2420 LOCATE 17,60:PRINT X(30);Y(30)
2430 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79) " "
2440 '-----
2450 ' Impressao do graficos restantes
2460 IF JJ=1 THEN 260
2470 IF JJ=2 THEN 270
2480 IF JJ=3 THEN 280
2490 IF JJ=4 THEN 290
2500 FOR X=1 TO 150:LINE (460,X)-(640,X),0:NEXT X:FOR X=160 TO 192:LINE(150,X)-(
450,X),0:NEXT X:LOCATE 1,60:PRINT "T=";TE:PLAY"agc":GOTO 2600
2510 '
2520 ' Entrada de dados iniciais:
2530 '-----
2540 ALFA=2.9:R=.0005:DE=1.38E-10:DF=3.6E-14:L5=.88:N=30:K=7:TE=23:
W=MHAAAA: DATA 3,.85,5,.89,10,.93,15,.94,20,.945,30,.95:JJ=1:RETURN
2550 ALFA=2.9:R=.000601:DE=1.73E-10:DF=5.2E-14:L5=.86:N=30:K=7:TE=23:
W=MHAAAA: DATA 3,.80,5,.86,10,.91,15,.92,20,.925,30,.93:JJ=2:RETURN
2560 ALFA=2.9:R=.0008:DE=2.26E-10:DF=1.25E-13:L5=.805:N=30:K=7:TE=23:
W=MHAAAA: DATA 3,.73,5,.81,10,.85,15,.86,20,.875,30,.885:JJ=3:RETURN
2570 ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.75E-10:DF=1.79E-13:L5=.77:N=30:K=7:TE=23:
W=MHAAAA: DATA 3,.7,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.85:JJ=4:RETURN
2580 ALFA=2.9:R=.00125:DE=3.29E-10:DF=6E-13:L5=.69:N=30:K=7:TE=23:
W=MHAAAA: DATA 3,.625,5,.69,10,.75,15,.77,20,.79,30,.80:JJ=5:RETURN
2590 '-----
2600 'armazena o "buffer" da tela
2610 'aponta o segmento para o "buffer" da tela
2620 'def SEG=&HB000
2630 'armazena o "buffer" no arquivo definido como Df
2640 LOCATE 23,1:INPUT "Qual e o nome do arquivo";Df
2650 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79) " "
2660 DEF SEG=&HB000
2670 BSAVE Df,0,&H4000
2680 PLAY"agb":Wf=INPUT$(1)

```

```

10 ' Programa CRANKT.BAS  GM-Basic 12-11-89  E. Ortega
20 '-----
30 '  CALCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA POR AJUSTE DE DADOS:
40 '
50 '  O programa calcula o rendimento da extracao em funcao do tempo
60 '  para valores especificados de alfa e da difusividade efetiva
70 '  livre "De" ate um certo valor de tempo de lavagem (4 minutos)
80 '  depois disso calcula o rendimento empregando um outro valor
90 '  da difusividade efectiva impedida que denominamos "DF",
100 '  na extracao com agua, em batelada, de particulas de cana de acucar
110 '  de pequeno tamanho, consideradas esfericas
120 '
130 '-----
140 '  Dimensionamento das variaveis
150 NN=30
160 DIM X(NN),Y(NN),XX(NN),YY(NN),ZZ(NN)
170 DIM QN(NN+1),SN(NN),CN(NN),FICK(NN),U(NN+1),V(NN+1)
180 K=7
190 DIM X1(K),Y1(K),AA(K),OO(K)
200 '-----
210 CLS:KEY OFF
220 '-----
230 '          dados experimentais
240 '
250 GOSUB 2630:GOTO 330
260 GOSUB 2640:GOTO 330
270 GOSUB 2650:GOTO 330
280 GOSUB 2660:GOTO 330
290 GOSUB 2670:GOTO 330
300 GOSUB 2680:GOTO 330
310 GOSUB 2690:GOTO 330
320 '
330 '-----
340 '  Aviso na tela
350 LOCATE 23,1:PRINT "Calculos da primeira fase de extracao....aguarde!";
360 PRINT " R=";R;"T=";TE;" t(4 min."
370 '-----
380 '
390 '  Obtencao dos valores de qn
400 J=1
410 Q=1.6
420 'PRINT "Para alfa=";ALFA
430 'PRINT "n","qn"
440 F=TAN(Q)-3*Q/(3+ALFA*(Q^2))
450 FL=(1/COS(Q))^2+(3*ALFA*(Q^2)-9)/((3+ALFA*(Q^2))^2)
460 A=Q
470 Q=A-F/FL
480 B=ABS(Q-A)
490 C=B/Q
500 IF C<=9.999999E-05 GOTO 520
510 GOTO 440
520 QN(J)=Q
530 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
540 J=J+1
550 IF J>N GOTO 580

```



```

560 Q=Q+3.15
570 GOTO 440
580 'LPRINT"calculo do grau de extracao vs tempo"
590 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA
600 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
610 FOR T=1 TO 30 STEP 1
620 ST=0
630 FOR I=1 TO 30
640 FICK(I)=DE*(QN(I)^2)*60*(T)/(R^2)
650 CN(I)=6*ALFA*(1+ALFA)/(9+9*ALFA+(QN(I)*ALFA^2)
660 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
670 ST=ST+SN(I)
680 NEXT I
690 U(T)=1-ST
700 'LPRINT TAB(10);T;
710 'LPRINT TAB(20) USING "###.##";FICK(N);
720 'LPRINT TAB(30) USING "%.###";U(T)
730 NEXT T
740 '
750 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79) " "
760 '
770 'LPRINT CHR$(10);LPRINT CHR$(10)
780 '
790 '
800 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
810 '
820 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=.5: YMAX=1:L1=1
830 '----- EQUACAO -----
840 FOR I=1 TO 30:X(I)=I-1+L1:NEXT I
850 FOR I=1 TO 30:Y(I)=U(I):NEXT I
860 '----- ETIQUETAS -----
870 XX00=(XMIN+XMAX)/10:XX0=(XMIN+XMAX)/6
880 XX1=(XMIN+XMAX)/3:XX2=(XMIN+XMAX)/2: XX3=(XMIN+XMAX)/(3/2)
890 YY3=(YMIN+YMAX)/2
900 A$="TEMPO (MIN)"
910 B$="GRAU DE EXTRACAO"
920 '----- ESCALAS -----
930 FOR I=0 TO N
940 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
950 YY(I)=10*(Y(I))/(YMAX)
960 NEXT I
970 '----- TELA GRAFICA -----
980 SCREEN 2 : WIDTH 80
990 '----- VALORES E MARCAS -----
1000 G=MAAAA
1010 FOR I=150 TO 450 STEP 10
1020 LINE (I,145)-(I,150)
1030 IF I=150 THEN LOCATE 20,19-LEN(STR$(XMIN))/2 : PRINT XMIN;
1040 IF I=180 THEN LOCATE 20,23-LEN(STR$(XX00))/2 : PRINT XX00;
1050 IF I=200 THEN LOCATE 20,26-LEN(STR$(XX0))/2 : PRINT XX0;
1060 LINE (200,0)-(200,150),,,6
1070 IF I=250 THEN LOCATE 20,32-LEN(STR$(XX1))/2 : PRINT XX1;
1080 LINE (250,0)-(250,150),,,6
1090 IF I=300 THEN LOCATE 20,38-LEN(STR$(XX2))/2 : PRINT XX2;
1100 IF I=350 THEN LOCATE 20,44-LEN(STR$(XX3))/2 : PRINT XX3;

```

```

1110 LINE (350,0)-(350,150),,,6
1120 IF I=450 THEN LOCATE 20,57-LEN(STR$(XMAX))/2 : PRINT XMAX;
1130 NEXT I
1140 FOR I=0 TO 150 STEP 15
1150 LINE (150,I)-(160,I)
1160 IF I=0 THEN LOCATE 1,18-LEN(STR$(YMAX)) : PRINT YMAX;
1170 IF I=30 THEN LOCATE 4,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.9
1180 IF I=60 THEN LOCATE 8,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.8
1190 IF I=90 THEN LOCATE 12,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.7
1200 IF I=120 THEN LOCATE 16,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.6
1210 IF I=150 THEN LOCATE 19,18-LEN(STR$(YMIN)) : PRINT YMIN;
1220 NEXT
1230 FOR I=30 TO 120 STEP 30
1240 IF I=30 THEN LINE (150,30)-(450,30),,,6
1250 IF I=60 THEN LINE (150,60)-(450,60),,,6
1260 IF I=90 THEN LINE (150,90)-(450,90),,,6
1270 IF I=120 THEN LINE (150,120)-(450,120),,,6
1280 NEXT I
1290 '----- MARCO -----
1300 LINE (150,0)-(450,150),1,B
1310 '----- LEGENDAS -----
1320 LOCATE 20,(68-LEN(A$)/2):PRINT A$
1330 P=LEN(B$)
1340 FOR I=1 TO P
1350 LOCATE(10+I-P/2),11
1360 V$=MID$(B$,I,1)
1370 PRINT V$
1380 NEXT I
1390 '----- PONTOS EXPERIMENTAIS -----
1400 K=6: ' Numero de pares de dados experimentais (ver linha 191)
1410 FOR I=1 TO K
1420 READ X1(I),Y1(I):
1430 AA(I)=10*(X1(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN):OO(I)=10*(Y1(I))/(YMAX)
1440 CIRCLE(AA(I)*30+150,300-OO(I)*30),4,,,,.5
1450 PSET(AA(I)*30+150,300-OO(I)*30)
1460 PSET(AA(I)*30+151,300-OO(I)*30)
1470 PSET(AA(I)*30+149,300-OO(I)*30)
1480 PSET(AA(I)*30+150,301-OO(I)*30)
1490 PSET(AA(I)*30+150,299-OO(I)*30)
1500 NEXT I
1510 '
1520 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
1530 FOR I=1 TO 3
1540 LINE (XX(I)*30+150,300-YY(I)*30)-(XX(I+1)*30+150,300-YY(I+1)*30),,,W
1550 NEXT I
1560 '
1570 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
1580 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
1590 LOCATE 2,60:PRINT "Y=1-SICI*e-FICKI1"
1600 LOCATE 4,60:PRINT "T =" ;TE
1610 LOCATE 5,60:PRINT "raio=" ;R
1620 LOCATE 6,60:PRINT "De =" ;DE
1630 LOCATE 7,60:PRINT "Df =" ;DF
1640 LOCATE 8,60:PRINT "alfa=" ;ALFA
1650 LOCATE 12,61:PRINT X(3);Y(3)

```

```

1660 LOCATE 13,61:PRINT X(5);Y(5)
1670 LOCATE 14,60:PRINT X(10);Y(10)
1680 LOCATE 15,60:PRINT X(15);Y(15)
1690 LOCATE 16,60:PRINT X(20);Y(20)
1700 LOCATE 17,60:PRINT X(30);Y(30)
1710 KEY OFF
1720 LOCATE 23,1:PRINT "Calculos da segunda fase de extracao.....aguarde!";:
1730 PRINT " R=";R;" T=";TE;" t>4 min."
1740 '-----
1750 '  Obtencao dos valores de qn
1760 J=1
1770 Q=1.6
1780 'IPRINT Para alfa=";ALFA
1790 'IPRINT "n","qn"
1800 F=TAN(Q)-3*Q/(3+ALFA*(Q^2))
1810 FL=(1/COS(Q))^2+(3*ALFA*(Q^2)-9)/((3+ALFA*(Q^2))^2)
1820 A=Q
1830 Q=A-F/FL
1840 B=ABS(Q-A)
1850 C=B/Q
1860 IF C<=9.999999E-05 GOTO 1880
1870 GOTO 1800
1880 QN(J)=Q
1890 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
1900 J=J+1
1910 IF J>N GOTO 1940
1920 Q=Q+3.15
1930 GOTO 1800
1940 'IPRINT"calculo do grau de extracao vs tempo"
1950 'LPRINT "Para De= ";DE;" R= ";R;" alfa= ";ALFA
1960 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
1970 '
1980 FOR T=4 TO 30 STEP 1
1990 ST=0
2000 FOR I=1 TO 30
2010 FICK(I)=DF*(QN(I)^2)*60*(T-5)/(R^2)
2020 QN(I)=6*ALFA*(1+ALFA)/(9+9*ALFA+(QN(I)*ALFA)^2)
2030 SN(I)=QN(I)*EXP(-FICK(I))
2040 ST=ST+SN(I):
2050 NEXT I
2060 V(T)=1+U(4)-ST:
2070 'LPRINT TAB(10);T;
2080 'LPRINT TAB(20) USING "###.##";FICK(N);
2090 'LPRINT TAB(30) USING "%.###";V(T)
2100 NEXT T
2110 '
2120 'LPRINT CHR$(10);LPRINT CHR$(10)
2130 BEEP
2140 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
2150 '
2160 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=.5: YMAX=1:L1=1
2170 '----- EQUACAO -----
2180 FOR I=5 TO 30:X(I)=I-1:L1:NEXT I
2190 FOR I=5 TO 30:Y(I)=V(I):NEXT I
2200 '----- ESCALAS -----

```

```

2210 FOR I=5 TO N
2220 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
2230 YY(I)=10*(Y(I))/(YMAX)
2240 NEXT I
2250 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
2260 FOR I=4 TO INT(XMAX-XMIN)-1
2270 LINE (XX(I)*30+150,300-YY(I)*30)-(XX(I+1)*30+150,300-YY(I+1)*30),,W
2280 NEXT I
2290 '
2300 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
2310 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
2320 LOCATE 2,60:PRINT "Y=1-SICI*e-FICK11"
2330 LOCATE 4,60:PRINT "T =";TE
2340 LOCATE 5,60:PRINT "raio=";R
2350 LOCATE 6,60:PRINT "De =";DE
2360 LOCATE 7,60:PRINT "Df =";DF
2370 LOCATE 8,60:PRINT "alfa=";ALFA
2380 LOCATE 12,61:PRINT X(3);Y(3)
2390 LOCATE 13,61:PRINT X(5);Y(5)
2400 LOCATE 14,60:PRINT X(10);Y(10)
2410 LOCATE 15,60:PRINT X(15);Y(15)
2420 LOCATE 16,60:PRINT X(20);Y(20)
2430 LOCATE 17,60:PRINT X(30);Y(30)
2440 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
2450 '-----
2460 '                                Impressao do graficos restantes
2470 IF JJ=1 THEN 260
2480 IF JJ=2 THEN 270
2490 IF JJ=3 THEN 280
2500 IF JJ=4 THEN 290
2510 IF JJ=5 THEN 300
2520 IF JJ=6 THEN 310
2530 IF JJ=7 THEN BEEP
2540 'LOCATE 24,1:PRINT TAB(79)" "
2550 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
2560 LOCATE 22,1:PRINT TAB(79)" "
2570 LOCATE 21,1:PRINT TAB(79)" "
2580 FOR X=1 TO 150:LINE (460,X)-(640,X),0:NEXT X:FOR X=160 TO 192:LINE(150,X)-(
450,X),0:NEXT X:LOCATE 1,60:PRINT "r=";R:PLAY"agc":GOTO 2710
2590 '
2600 '-----
2610 ' Entrada de dados iniciais:
2620 '-----
2630 ALFA=2.9;R=.00095;DE=2.82E-10;DF=1.61E-13;L5=.77;TE=23;N=30;K=6;W=&HAAAA:
DATA 3,.70,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.85:JJ=1:RETURN
2640 ALFA=2.9;R=.00095;DE=3.09E-10;DF=1.61E-13;L5=.81;TE=30;N=30;K=6;W=&HAAAA:
DATA 3,.79,5,.81,10,.84,15,.86,20,.87,30,.87:JJ=2:RETURN
2650 ALFA=2.9;R=.00095;DE=3.28E-10;DF=1.85E-13;L5=.82;TE=40;N=30;K=6;W=&HAAAA:
DATA 3,.80,5,.82,10,.85,15,.87,20,.880,30,.890:JJ=3:RETURN
2660 ALFA=2.9;R=.00095;DE=3.91E-10;DF=1.51E-13;L5=.86;TE=50;N=30;K=6;W=&HAAAA:
DATA 3,.84,5,.87,10,.885,15,.890,20,.910,30,.920:JJ=4:RETURN
2670 ALFA=2.9;R=.00095;DE=5.64E-10;DF=1.01E-13;L5=.91;TE=60;N=30;K=6;W=&HAAAA:
DATA 3,.900,5,.93,10,.94,15,.95,20,.96,30,.965:JJ=5:RETURN
2680 ALFA=2.9;R=.00095;DE=4.55E-10;DF=1.81E-13;L5=.87;TE=70;N=30;K=6;W=&HAAAA:
DATA 3,.84,5,.87,10,.920,15,.920,20,.950,30,.950:JJ=6:RETURN
2690 ALFA=2.9;R=.00095;DE=4.82E-10;DF=2.01E-13;L5=.88;TE=80;N=30;K=6;W=&HAAAA:
DATA 3,.87,5,.91,10,.920,15,.950,20,.960,30,.965:JJ=7:RETURN

```

```
2700 '-----
2710 'armazena o "buffer" de tela
2720 'aponta o segmento para o "buffer" de tela
2730 'def SEG=&HB600
2740 'armazena o "buffer" no arquivo definido como D$
2750 LOCATE 23,1:INPUT "Qual e o nome do arquivo":D$
2760 LOCATE 23,1:PRINT TAB(78) " "
2770 DEF SEG=&HB600
2780 BSAVE D$,0,&H4000
2790 PLAY"agb":W$=INPUT$(1)
```

```

30 SCREEN 0,0,0,J
100 ' Programa Theta12.bas          GNBASIC(BASICA)
105 ' -----
110 ' METODO THETA:
115 ' COMBINACAO DOS 3 METODOS DAS DIFERENCIAS FINITAS
120 '
125 ' Caso: Transferencia de massa numa esfera porosa solida
130 '      Extracao solido-liquido de acucar de cana
135 ' Fases: Lavagem inicial, difusao nao impedida
140 '
145 ' Doutorando: Enrique Ortega
150 ' Orientadora: Maria Angela Petenate
155 ' Colaboracao: Fernando Cabral
160 '      Renata Zangelmi
165 '
170 ' DEA/FEA/Unicamp 30 de julho de 1989
175 ' -----
180 '
185 ' Equacao de transporte: E.D.P. de um processo transiente de lavagem
190 '      convectiva e difusao livre numa esfera.
195 '
200 ' Para:  $T > 0$  e  $0 \leq Y \leq 1$   $d^2C/dY^2 + 2/Y * dC/dY = dC/dT$ 
205 '
210 ' Onde:  $C = c/CT0$       ! Como ha simetria considera-se,
215 '       $Y = r/R$         ! no raio de esfera, unicamente
220 '       $T = Dt/R^2$       ! o sentido positivo.
225 '
230 ' Condicoes iniciais:
235 '      p/  $T = 0$  e  $Y = 1$        $C = 1$ 
240 ' Condicoes de contorno:
245 '      p/  $Y = 0$  e  $T > 0$        $dC/dY = 0$ 
250 '      p/  $Y = 1$  e  $T > 0$       temos:  $(DA/R) dC/dY = kA(C - Cs)$ 
255 '      porem considerando:  $Cs = 0$ 
260 '      e pela definicao de Biot:  $Bi = kR/D$ 
265 '      temos afinal:  $dC/dY = Bi * C$ 
270 '
275 ' -----
280 ' PROGRAMA
285 ' -----
290 ' GOSUB 815: Preparacao da impressora ---> modo condensado
295 ' GOSUB 840: Tela de apresentacao no monitor
300 ' -----
305 '
308 DEFINT N,W
310 PRINT "      Valores considerados para as variaveis:"
315 PRINT ""
320 PRINT "Metodo de Crank-Nicolson          Theta= ";;PRINT ".5":TETA=.5
325 PRINT "Valor do Numero de Biot:  $Bi = kR/D$       Bi= ";;INPUT BI
330 PRINT "Incremento do tempo adimensional ( $Fick = Dt/R^2$ ):      dT= ";;INPUT DT
335 PRINT ""
340 PRINT "Intervalo de impressao [opcao=10]:      FX=";;INPUT FX
345 PRINT "Limite inferior de C(N+1) [opcao=.01]      Li=";;INPUT LI
350 PRINT ""
355 PRINT "Numero de intervalos nodais [opcao=10]:      N=";;PRINT "10":N=10

```

```

357 PRINT "":DY=1/N:TI=DT*PX:TAU=DT/(DY^2):
360 PRINT "Avanco no raio: dY=1/N          dY=";:PRINT DY
365 PRINT "Avanco no tempo na impressao:/\T=dt*PX  /\T=";:PRINT USING "%.##";TI
370 PRINT ""
375 PRINT "-----> Tecla algo para avancar! ";A$=INPUT$(1)
380 '-----
385 '      Dimensionalizacao das variaveis do programa de calculo
390 I=N+1
395 DIM A(I),B(I),C(I),D(I),GAMA(I),BETA(I),V(I),U(I),F(I),IN(I)
400 '-----
405 '      Espaco reservado para laco no calculo dos 3 metodos
410 'FOR TETA=0 TO 1 STEP .5
415 '-----
420 W=-1:      Valor inicial do contador
425 '-----
430 'GOSUB 905:  Impressao de cabecalho
435 '-----
440 'GOSUB 1120: Impressao de marcos para graficos no monitor
445 '-----
450 '      Calculo dos valores da concentracao ao longo do raio
455 '
460 '      Valor inicial do perfil
465 T=0:Tempo igual a zero
470 FOR I=1 TO N+1
475 U(I)=1:V(I)=1
480 NEXT I
485 'GOSUB 960: Impressao de valores iniciais do perfil
490 '
495 '      Para I=1, no centro da esfera:
500 B(1)=1 + 2*TAU*TETA
505 C(1)=-2*TAU*TETA
510 D(1)=(1-2*TAU*(1-TETA))*U(1)+2*TAU*(1-TETA)*U(2)
515 '
520 '      Nos pontos internos:
525 FOR I=2 TO N
530 A(I)=-TAU*TETA*((I-2)/(I-1))
535 B(I)=1+(2*TAU*TETA)
540 C(I)=-TAU*TETA*(I/(I-1))
545 D(I)=TAU*(1-TETA)*((I-2)/(I-1))*U(I-1)+(1-(2*TAU*(1-TETA)))*U(I)+(TAU*(1-TETA))*((I/(I-1))*U(I+1))
550 NEXT I
555 '      Na parede da esfera
560 I=N+1
565 A(I)=-2*TAU*TETA
570 B(I)=2*TAU*TETA*(1+H*DY*((N+1)/N))+1
575 D(I)=2*TAU*(1-TETA)*U(N)+(1-(2*TAU*(1-TETA)*(1+BI*DY*((N+1)/N))))*U(I)
580 '
585 '-----
590 'GOSUB 740:  Processamento da matriz tridiagonal
595 '-----
600 W=W+1:      Atualizacao do Contador
605 LOCATE 1,76:PRINT W:  Mostra valor do contador
610 '-----
615 IF W < PX THEN 655:'Se W <PX continua rodando ate W=PX dando incremento DT
620 '-----
625 '      No caso que o contador W atingir o valor PX (default 10)

```

```

630 GOSUB 1035: '      Calculo do rendimento
635 'GOSUB 960: '      Subrotina de impressao de resultados
640 GOSUB 1295: '      Subrotina de trazado de curvas no monitor
645 W=0: '      Zera o contador e retoma o incremento do tempo adimensional
650 '-----
655 T=T+DT: '      Somente da um incremento no tempo adimensional DT
660 '      Atualiza valores do perfil de concentracoes
665 FOR I=1 TO N+1
670 U(I)=V(I)
675 NEXT I
680 '      Verifica valor da concentracao inferior pre-fixada
685 IF U(1)<=LI THEN 725: '      Fim do calculo de um metodo
690 GOTO 500: '      Prosegue o calculo do perfil de concentracoes
695 '-----
700 '      Espaco reservado para fim do laço (410)
705 'NEXT TETA
710 '-----
715 '      Fim do processo de calculo
720 '
725 BEEP:BEEP:CLOSE:WS$=INPUT$(1):KEY ON:SCREEN 0:STOP
730 '-----
735 '
740 '----- Sub rotina de resolucao da matriz tridiagonal-----
745 F=1 : FL=N+1
750 BETA(F)=B(F) : GAMA(F)=D(F)/BETA(F)
755 FP1=F+1
760 FOR I=FP1 TO FL
765 Z=I-1
770 BETA(I)=(B(I)-A(I)*C(Z)/BETA(Z))
775 GAMA(I)=(D(I)-A(I)*GAMA(Z))/BETA(I)
780 NEXT I
785 V(FL)=GAMA(FL)
790 FOR K=1 TO (FL-F)
795 I=FL-K : Q=I+1
800 V(I)=GAMA(I)-C(I)*V(Q)/BETA(I)
805 NEXT K
810 RETURN
815 '----- Subrotina de preparacao da impressora -----
820 'WIDTH "LPT1:",255
825 'OPEN "LPT1:" AS #1
830 'LPRINT CHR$(27)+CHR$(15);
835 'RETURN
840 '----- Subrotina de tela para entrada de dados -----
845 '
850 CLS:LOCATE 1,5:C$="-":A$=STRING$(79,C$):KEY OFF
855 PRINT A$
860 PRINT*
865 PRINT"      APLICACAO DO METODO THETA"
870 PRINT""
875 PRINT""
880 PRINT"      tetha=0.5 METODO DE CRANCK NICOLSON.. restricao: Bi<30"
885 PRINT""
890 PRINT""
895 PRINT A$
900 RETURN

```



```

905 '----- Subrotina de cabecalho -----
910 '
915 PRINT #1,CHR$(10);PRINT #1,CHR$(10);D$=STRING$(130,C$)
920 PRINT #1,D$;CHR$(10)
925 PRINT #1,"Theta=";TETA;" Biot=";BI;" dT=";DT;" dY=";DY;" Tau=";TAU;
930 PRINT #1," Nodos (N+1)=";N+1;" Intervalo de impressao PX=";PX;" Concentracao final
LI=";LI;CHR$(10)
935 PRINT #1,D$;CHR$(10)
940 PRINT #1,"R E S U L T A D O S: P E R F I L D A C O N C E N T R A C A O A O L O N G O D
O R A I D E M C A D A T E M P O";CHR$(10)
945 PRINT #1,"T" TAB(10) "Y= 0" TAB(20) "Y=.1" TAB(30) "Y=.2" TAB(40) "Y=.3" TAB(50) "Y=.4";
950 PRINT #1,TAB(60) "Y=.5" TAB(70) "Y=.6" TAB(80) "Y=.7" TAB(90) "Y=.8" TAB(100) "Y=.9" TAB(110)
"Y= 1" TAB(120) "REND";CHR$(10)
955 RETURN
960 '----- Subrotina de impressao de resultados -----
965 'PRINT #1,TAB(0) USING "#.###";T;
970 'PRINT #1,TAB(10) USING "#.###";V(1);
975 'PRINT #1,TAB(20) USING "#.###";V(2);
980 'PRINT #1,TAB(30) USING "#.###";V(3);
985 'PRINT #1,TAB(40) USING "#.###";V(4);
990 'PRINT #1,TAB(50) USING "#.###";V(5);
995 'PRINT #1,TAB(60) USING "#.###";V(6);
1000 'PRINT #1,TAB(70) USING "#.###";V(7);
1005 'PRINT #1,TAB(80) USING "#.###";V(8);
1010 'PRINT #1,TAB(90) USING "#.###";V(9);
1015 'PRINT #1,TAB(100) USING "#.###";V(10);
1020 'PRINT #1,TAB(110) USING "#.###";V(11);
1025 'PRINT #1,TAB(120) USING "#.###";RE;PRINT #1,CHR$(10)
1030 RETURN
1035 '-----Subrotina de calculo do rendimento-----
1040 ' Metodo de Runge-Kuta de quarta ordem
1045 '
1050 PP=1-(2^.5)/2;QQ=1+(2^.5)/2
1055 FOR G=1 TO 11
1060 F(G)=V(G)*(((G-1)*DY)^2)
1065 NEXT G
1070 IN(1)=0
1075 FOR J=3 TO 11 STEP 2
1080 K1=2*DY*F(J-2)
1085 K2=2*DY*F(J-1)
1090 K3=K2
1095 K4=2*DY*F(J)
1100 IN(J)=(IN(J-2))+((K1+K4)/6)+(((PP*K2)+(QQ*K3))/3)
1105 NEXT J
1110 RE=1-3*(IN(11))
1115 RETURN
1120 '----- Elaboracao do grafico no monitor -----
1125 CLS: SCREEN 2: WIDTH 80
1130 OPEN "SCRN:" FOR OUTPUT AS #2
1135 LINE (10,20)-(310,180),,B
1140 LINE (330,20)-(630,180),,B
1145 FOR KX=40 TO 310 STEP 30
1150 LINE (KX,20)-(KX,23)
1155 LINE (KX,177)-(KX,180)
1160 NEXT KX

```

```

1165 FOR KZ=345 TO 615 STEP 15
1170 LINE (KX,20)-(KX,23)
1175 LINE (KX,177)-(KX,180)
1180 NEXT KZ
1185 FOR KX=36 TO 164 STEP 16
1190 LINE (10,KX)-(13,KX)
1195 LINE (307,KX)-(310,KX)
1200 LINE (330,KX)-(333,KX)
1205 LINE (627,KX)-(630,KX)
1210 NEXT KX
1215 LOCATE 3,1:PRINT#2,"1"
1220 LOCATE 6,1:PRINT#2,"C"
1225 LOCATE 23,1:PRINT#2,"0"
1230 LOCATE 3,41:PRINT#2,"1"
1235 LOCATE 6,40:PRINT#2,"RE"
1240 LOCATE 13,40:PRINT#2,"5"
1245 LOCATE 23,41:PRINT#2,"0"
1250 LOCATE 2,1:PRINT#2,"0",5,Y,1"
1255 LOCATE 2,40:PRINT#2,"0",5,1,T,2"
1260 LOCATE 1,1:PRINT#2,"Theta=";TETA:LOCATE 1,13:PRINT#2,"Biot=";BI
1265 LOCATE 1,42:PRINT#2,"T=";LOCATE 1,52:PRINT#2,"Rend="
1270 LOCATE 1,74:PRINT#2,"W="
1275 FX=330:RY=180
1280 LOCATE 1,28:PRINT USING "###";FX:LOCATE 1,36:PRINT USING "###";RY
1285 LOCATE 1,45:PRINT USING "#.##";T:LOCATE 1,58:PRINT USING "#.##";RE
1290 RETURN
1295 '----- Sub rutina de trazado de curvas -----
1300 FOR I=1 TO 10 STEP 1
1305 LINE (10+(30*(I-1)),180-(V(I))*160)-(10+(30*I),180-(V(I+1))*160),2
1310 NEXT I
1315 LINE (FX,RY)-(330+(T*150),180-(RE*160)):BEEP
1320 FX=330+(T*150)
1325 RY=180-(RE*160)
1330 LOCATE 1,28:PRINT USING "###";FX:LOCATE 1,36:PRINT USING "###";RY
1335 LOCATE 1,45:PRINT USING "#.##";T:LOCATE 1,58:PRINT USING "#.##";RE
1340 RETURN

```

```

100 ' Programa Beta6.bas          GNBASIC(BASICA)
105 ' -----
110 '
115 ' EXTRACAO SOLIDO-LIQUIDO DE ACUCAR DE CANA EM BATELADA
120 '
125 ' Caso: Transferencia de massa numa esfera porosa solida
130 '       Lavagem com difusao livre e difusao impedida
135 '
140 ' Solucao: Metodo numerico das diferencias finitas
145 '       Procedimento de Crank-Nicolson
150 '
155 ' Doutorando: Enrique Ortega
160 ' Orientadora: Maria Angela Petenate
165 ' Colaboracao: Fernando Cabral
170 '              Joelma Gouveia, Renata Zangelmi
175 '
180 ' DEA/FEA/Unicamp  13 de setembro de 1989
185 ' -----
190 '
195 ' Equacao de transportes: E.D.P. de um processo transiente de lavagem
200 '       convectiva e difusao impedida numa esfera.
205 '
210 ' Para:  $T > 0$  e  $0 \leq Y \leq 1$   $D^2C/dY^2 + 2/Y * dC/dY = F(Beta, C) dC/dT$ 
215 '
220 ' Onde:  $C=c/cT0$    |  $c$ =conc.solute no liquido intercelular
225 '           |  $cT0$ =conc.total no instante inicial
230 '        $Y=r/R$      | Como ha simetria considera-se, no raio da esfera,
235 '           | unicamente o sentido positivo.       $R$ = raio total
240 '        $T=Dt/R^2$   |  $T$ =numero de Fick   $D$ =difusividade= $Ds$ /tortuosidade
245 '           |  $Ds$ =difusividade livre
250 '           |  $e$ =porosidade       $De=e*D$ =difusividade efetiva
255 '
260 '  $F(Beta, C) = \{ [1 + (beta * m * CM)] / [1 + beta * C^2] \}$ 
265 '
270 '  $e=0.3$    $m=[(1-e)/e]=2.333$    $CM$ =concentracao adimensional maxima=1.4
275 ' Beta-->valor calculado atraves de ajuste grafico dos dados
280 '
285 ' Condicoes iniciais:
290 '   p/  $T=0$  e  $Y=1$             $C=1$ 
295 ' Condicoes de contorno:
300 '   p/  $Y=0$  e  $T>0$             $dC/dY=0$ 
305 '   p/  $Y=1$  e  $T>0$          temos:  $(DA/R) dC/dY = kA[C - Cfs/Kp]$ 
310 '       porem considerando:  $Cfs=re/delta$ 
315 '                            $re$ =rendimento
320 '                            $delta$ =volume liquido/volume solido
325 ' e pela definicao de Biot:  $Bi=kR/D$ 
330 '       temos afinal:  $dC/dY = Bi * [C - (re/delta/Kp)]$ 
335 '
340 ' Fase inicial: tempo < tempo de lavagem   Beta=0   F(B,C)=1
345 ' Fase final   tempo > tempo de lavagem   Beta(>0) F(B,C)>1
350 '
355 ' -----
360 ' PROGRAMA
365 ' -----

```

```

370 'GOSUB 815:' Preparacao da impressora --->modo condensado
375 GOSUB 1005:' Tela de apresentacao no monitor
380 '-----
385 '
390 '                                Dados experimentais
400 GOSUB 2010:FX=30:RY=340:GOTO 420
401 GOSUB 2015:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
402 GOSUB 2020:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
403 GOSUB 2025:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
404 GOSUB 2030:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
405 '
410 '-----
415 '
420 DEFINT N,M:' Variaveis pre-definidas como de numero inteiro
425 '
430 '-----
435 PRINT "      Valores iniciais considerados para as variaveis:"
440 PRINT ""
445 PRINT "Valor do Numero de Biot: Bi=k*R/D          Bi= ";:PRINT BI
450 PRINT "Valor do coeficiente de absorcao Beta      ";CHR$(225);"= ";:PRINT BETHA
454 PRINT "Valor do tempo de lavagem (minutos)        t1= ";:PRINT LT
455 PRINT "Incremento do tempo adimensional(Fick)lopcao=.01ldT= ";:PRINT DT
458 PRINT "Temperatura ( C)                             Te= ";:PRINT TE
460 PRINT "Valor do raio (m)                             Ra= ";:PRINT RA
465 PRINT "Valor da porosidade                          e= ";:PRINT E
470 PRINT "Valor da difusividade efetiva (m^2/s) Dex(10^-10)= ";:PRINT DE
478 'D=STR$(DD):DE=D#+"D-10":DE=VAL(DE$)
480 D=(DE/E):TL=10*D*60*LT/RA^2:M=(1-E)/E:KB=1.4*M:PRINT D;TL;M;KB
485 PRINT "Limite inferior de C(N+1) lopcao=.011      Li= ";:PRINT LI
490 PRINT "Intervalo de impressao lopcao=10):          FX=";:PRINT " 10":PX=10
495 PRINT "Numero de intervalos nodais lopcao=10):      N= ";:PRINT "10":N=10
500 DY=1/N:TT=DT*PX:TAU=DT/(DY^2):TETA=.5
505 PRINT "Avanco no raio: dY=1/N                      dY=";:PRINT DY
510 PRINT "Avanco no tempo na impressao:/\T=dT*PX /\T= ";:PRINT USING "#.##";TT
515 '
520 PRINT "-----> Tecle algo para avancar!";:A$=INPUT$(1)
525 '-----
530 '      Dimensionalizacao das variaveis do programa de calculo
535 I=N+1
540 DIM A(I),B(I),C(I),D(I),GAMA(I),BETA(I),V(I),U(I),F(I),IN(I),FB(I)
545 KK=7: DIM X1(KK),Y1(KK),AA(KK),OO(KK)
550 '-----
555 'GOSUB 905:' Impressao de cabecalho
570 '-----
575 GOSUB 1275:' Impressao de marcos para graficos no monitor
580 DY=1/N:TT=DT*PX:TAU=DT/(DY^2):TETA=.5
581 D=(DE/E):TL=10*D*60*LT/RA^2:M=(1-E)/E:KB=1.4*M
582 W=-1:' Valor inicial do contador
583 GOSUB 1495:' Coloca pontos experimentais
585 '-----
590 '      Calculo dos valores da concentracao ao longo do raio
595 '
600 '      Valor inicial do perfil
605 T=0:'Tempo igual a zero
610 FOR I=1 TO N+1

```

```

620 NEXT I
625 'GOSUB 960:' Impressao de valores iniciais do perfil
630 '
635 '          Calculo do valor medio da funcao de beta
640 Z=0:AC=0
645 FOR I=1 TO N+1:Z=U(I):AC=AC+Z:NEXT I
650 C2=AC/(N+1):FB=1+((KB*BETA)/(1+BETA*(C2)^2))
655 LOCATE 1,67:PRINT USING "##.###":FB
660 '
665 '          No centro da particula:
670 B(1)=1 + 2*(TAU/FB)*TETA
675 C(1)=-2*(TAU/FB)*TETA
680 D(1)=(1-2*(TAU/FB)*(1-TETA))*U(1)+2*(TAU/FB)*(1-TETA)*U(2)
685 '
690 '          Nos pontos internos:
695 FOR I=2 TO N
700 A(I)=- (TAU/FB)*(TETA)*((I-2)/(I-1))
705 B(I)=1+(2*(TAU/FB)*TETA)
710 C(I)=- (TAU/FB)*(TETA)*(I/(I-1))
715     D(I)=(TAU/FB)*(1-TETA)*((I-2)/(I-1))*U(I-1)+(1-(2*(TAU/FB)*(1-TETA)))*U(I)+((TAU/FB)*(1-
TETA))*(I/(I-1))*U(I+1)
720 NEXT I
725 '          Na parede da esfera
730 I=N+1
735 A(I)=-2*(TAU/FB)*TETA
740 B(I)=2*(TAU/FB)*(TETA)*((1+H*DY*((N+1)/N))+1)
745 D(I)=2*(TAU/FB)*(1-TETA)*U(N)+(1-(2*(TAU/FB)*(1-TETA)*(1+BI*DY*((N+1)/N))))*U(I)
750 '
755 '-----
760 GOSUB 905:' Processamento da matriz tridiagonal
765 '-----
770 W=W+1:'          Atualizacao do Contador
775 LOCATE 2,77:PRINT W:'          Mostra valor do contador
780 '-----
785 IF W < PX THEN 825:'Se W <PX continua rodando ate W=PX dando incremento DT
790 '-----
795 '          No caso que o contador W atingir o valor PX (default 10)
800 GOSUB 1190:' Calculo do rendimento
805 'GOSUB 960:' Subrotina de impressao de resultados
810 GOSUB 1560:' Subrotina de trazado de curvas no monitor
815 W=0:'          Zera o contador e retoma o incremento do tempo adimensional
820 '-----
825 T=T+DT:'          Somenta de um incremento no tempo adimensional DT
830 '          Atualiza valores do perfil de concentracoes
835 FOR I=1 TO N+1
840 U(I)=V(I)
845 NEXT I
850 '          Verifica valor da concentracao inferior pre-fixada
855 IF U(1)<=LI THEN 890:' Fim do calculo de um metodo
860 '          Calcula Beta de acordo com fase de lavagem
865 IF T<TL THEN BETA=0 ELSE BETA=BETHA
870 GOTO 640:'          Prosegue o calculo do perfil de concentracoes
875 '-----
880 '          Fim do processo de calculo
885 '

```

```

620 NEXT I
625 'GOSUB 960:' Impressao de valores iniciais do perfil
630 '
635 '          Calculo do valor medio da funcao de beta
640 Z=0:AC=0
645 FOR I=1 TO N+1:Z=U(I):AC=AC+Z:NEXT I
650 CZ=AC/(N+1):FB=1+((KB*BETA)/(1+BETA*(CZ)^2))
655 LOCATE 1,67:PRINT USING "##.###":FB
660 '
665 '          No centro da particula:
670 B(1)=1 + 2*(TAU/FB)*TETA
675 C(1)=-2*(TAU/FB)*TETA
680 D(1)=(1-2*(TAU/FB)*(1-TETA))*U(1)+2*(TAU/FB)*(1-TETA)*U(2)
685 '
690 '          Nos pontos internos:
695 FOR I=2 TO N
700 A(I)=-(TAU/FB)*(TETA)*((I-2)/(I-1))
705 B(I)=1+(2*(TAU/FB)*TETA)
710 C(I)=-(TAU/FB)*(TETA)*(I/(I-1))
715   D(I)=(TAU/FB)*(1-TETA)*((I-2)/(I-1))*U(I-1)+(1-(2*(TAU/FB)*(1-TETA)))*U(I)+((TAU/FB)*(1-
TETA))*(I/(I-1))*U(I+1)
720 NEXT I
725 '          Na parede da esfera
730 I=N+1
735 A(I)=-2*(TAU/FB)*TETA
740 B(I)=2*(TAU/FB)*(TETA)*(1+H*DY*((N+1)/N))+1
745 D(I)=2*(TAU/FB)*(1-TETA)*U(N)+(1-(2*(TAU/FB)*(1-TETA)*(1+BI*DY*((N+1)/N))))*U(I)
750 '
755 '-----
760 GOSUB 905:'   Processamento da matriz tridiagonal
765 '-----
770 W=W+1:'          Atualizacao do Contador
775 LOCATE 2,77:PRINT W:'      Mostra valor do contador
780 '-----
785 IF W < PX THEN 825:'Se W <PX continua rodando ate W=PX dando incremento DT
790 '-----
795 '          No caso que o contador W attingir o valor PX (default 10)
800 GOSUB 1190:'   Calculo do rendimento
805 'GOSUB 960:'   Subrotina de impressao de resultados
810 GOSUB 1560:'   Subrotina de trazado de curvas no monitor
815 W=0:'          Zera o contador e retoma o incremento do tempo adimensional
820 '-----
825 T=T+DT:'       Somente de um incremento no tempo adimensional DT
830 '          Atualiza valores do perfil de concentracoes
835 FOR I=1 TO N+1
840 U(I)=V(I)
845 NEXT I
850 '          Verifica valor da concentracao inferior pre-fixada
855 IF U(1)<=LI THEN 890:'   Fim do calculo de um metodo
860 '          Calcula Beta de acordo com fase de lavagem
865 IF T<TL THEN BETA=0 ELSE BETA=BETHA
870 GOTO 640:'       Prosegue o calculo do perfil de concentracoes
875 '-----
880 '          Fim do processo de calculo
885 '

```

```

1155 'PRINT #1,TAB(70) USING "#.####";V(7);
1160 'PRINT #1,TAB(80) USING "#.####";V(8);
1165 'PRINT #1,TAB(90) USING "#.####";V(9);
1170 'PRINT #1,TAB(100) USING "#.####";V(10);
1175 'PRINT #1,TAB(110) USING "#.####";V(11);
1180 'PRINT #1,TAB(120) USING "#.####";RE;:PRINT #1,CHR$(10)
1185 RETURN
1190 '-----Subrotina de calculo do rendimento-----
1195 '           Metodo de Runge-Kuta de quarta ordem
1200 '
1205 PP=1-(2^.5)/2;QQ=1+(2^.5)/2
1210 FOR G=1 TO 11
1215 F(G)=V(G)*(((G-1)*DY)^2)
1220 NEXT G
1225 IN(1)=0
1230 FOR J=3 TO 11 STEP 2
1235 K1=2*DY*F(J-2)
1240 K2=2*DY*F(J-1)
1245 K3=K2
1250 K4=2*DY*F(J)
1255 IN(J)=(IN(J-2))+((K1+K4)/6)+(((PP*K2)+(QQ*K3))/3)
1260 NEXT J
1265 RE=1-3*(IN(11))
1270 RETURN
1275 '-----Elaboracao do grafico no monitor -----
1280 CLS: SCREEN 2: WIDTH 80
1285 OPEN "SCRN:" FOR OUTPUT AS #2
1290 LINE (10,20)-(310,180),,B
1295 LINE (330,20)-(630,180),,B
1300 FOR KX=40 TO 310 STEP 30
1305 LINE (KX,20)-(KX,23)
1310 LINE (KX,177)-(KX,180)
1315 NEXT KX
1320 FOR KX=330 TO 630 STEP 10
1325 LINE (KX,20)-(KX,23)
1330 LINE (KX,177)-(KX,180)
1335 NEXT KX
1340 GG=WHAAAA
1345 FOR KX=380 TO 580 STEP 50
1350 LINE (KX,20)-(KX,180),,,GG
1355 NEXT KX
1360 FOR KX=36 TO 164 STEP 16
1365 LINE (10,KX)-(13,KX)
1370 LINE (307,KX)-(310,KX)
1375 LINE (330,KX)-(333,KX)
1380 LINE (627,KX)-(630,KX)
1385 NEXT KX
1390 LOCATE 3,1:PRINT#2,"1"
1395 LOCATE 6,1:PRINT#2,"C"
1400 LOCATE 23,1:PRINT#2,"0"
1405 LOCATE 3,41:PRINT#2,"1"
1410 LOCATE 6,40:PRINT#2,"RE"
1415 LOCATE 13,40:PRINT#2,"5"
1420 LOCATE 23,41:PRINT#2,"0"
1425 LOCATE 25,1:PRINT#2," 0",5      r/R      1"

```

```

1430 LOCATE 25,40:PRINT#2," 0    5    10    15 tempo(minutos) 30"
1435 LOCATE 1,3:PRINT#2,"Biot=";BI:LOCATE 1,15:PRINT#2,"De=";DE
1440 LOCATE 1,29:PRINT "T(C)=";TE:LOCATE 2,23:PRINT " R=";RA
1445 LOCATE 2,3:PRINT#2,"Beta=";BETA:LOCATE 2,16:PRINT#2,"e=";E
1450 LOCATE 1,41:PRINT#2,"FL=";LOCATE 1,50:PRINT#2,"(    min)"
1455 LOCATE 2,39:PRINT#2,"Fick="; LOCATE 2,50:PRINT#2,"(    min)"
1460 LOCATE 1,63:PRINT #2,"FB="
1465 LOCATE 2,63:PRINT #2,"Re=";LOCATE 2,75:PRINT#2,"W="
1470 FX=330:RY=180
1475 LOCATE 1,45:PRINT USING "##.##";TL:LOCATE 1,51:PRINT USING "##.##";LT
1480 LOCATE 2,45:PRINT USING "##.##";T:LOCATE 2,51:PRINT USING "##.##";MIN
1485 LOCATE 2,68:PRINT USING "#.###";RE
1490 RETURN
1495 '----- Sub rotina de trizado de pontos -----
1500 KK=7
1505 FOR I=1 TO KK
1510 READ X1(I),Y1(I):
1515 AA(I)=10*X1(I)/30:OO(I)=10*Y1(I)
1520 'CIRCLE(AA(I)*30+330,180-OO(I)*16),5,,,,5
1525 PSET(AA(I)*30+330,180-OO(I)*16)
1530 PSET(AA(I)*30+331,180-OO(I)*16)
1535 PSET(AA(I)*30+329,180-OO(I)*16)
1540 PSET(AA(I)*30+330,181-OO(I)*16)
1545 PSET(AA(I)*30+330,179-OO(I)*16)
1550 NEXT I
1555 RETURN
1560 '----- Sub rotina de trizado de curvas -----
1565 FOR I=1 TO 10 STEP 1
1570 LINE (10+(30*(I-1)),180-(V(I))*160)-(10+(30*I),180-(V(I+1))*160)
1575 NEXT I
1580 MIN=T*RA^2/(D*60)
1585 LINE (FX,RY)-(330+(MIN),180-(RE*160))
1590 FX=330+(MIN)
1595 IF FX > 630 THEN 890
1600 RY=180-(RE*160)
1605 LOCATE 2,3:PRINT#2,"Beta=";BETA
1610 LOCATE 2,45:PRINT USING "##.##";T:
1615 LOCATE 2,51:PRINT USING "##.##";MIN/10
1620 LOCATE 2,68:PRINT USING "#.###";RE
1625 RETURN
1630 '-----
2000 '  Entrada de dados iniciais:
2002 ' -----
2003 '          Raios: .0005, .0006, .0008, .00095 e .00125 m
2004 '          Temperatura constante de 23 C
2005 ' -----
2010 DATA 0,0,3,.850,5,.89,10,.930,15,.940,20,.945,30,.950: TE=23: DE=1.25E-10: BI=.4
:BETHA=6.5:LT=4: DT=.1: RA=.0005 :E=.3:LI=.01:JJ=1:RETURN
2015 DATA 0,0,3,.800,5,.86,10,.910,15,.920,20,.925,30,.930: TE=23: DE=1.5E-10: BI=.4
:BETHA=8.5:LT=4.6:DT=.1: RA=6.000001E-04:E=.3:LI=.01:JJ=2:RETURN
2020 DATA 0,0,3,.730,5,.81,10,.850,15,.860,20,.875,30,.885: TE=23: DE=2.01E-10: BI=.4
:BETHA=9: LT=4.9:DT=.1: RA=.0008 :E=.3:LI=.01:JJ=3:RETURN
2025 DATA 0,0,3,.700,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.850: TE=23: DE=2.3E-10:
BI=.44:BETHA=12: LT=4.8:DT=.1: RA=.00095:E=.3:LI=.01:JJ=4:RETURN
2030 DATA 0,0,3,.625,5,.69,10,.750,15,.770,20,.790,30,.800: TE=23: DE=2.8E-10: BI=.5

```


:BETHA=8: LT=5: DT=.1: RA=.00125:E=.3:LI=.01:JJ=5:RETURN
2035 '-----

```

100 ' Programa BIBERAID.BAS      GMBasic(BASICA)
105 ' -----
110 '
115 '  EXTRACAO SOLIDO-LIQUIDO DE ACUCAR DE CANA EM BATELADA
120 '
125 '  Caso: Transferencia de massa numa esfera porosa solida
130 '        Lavagem com difusao livre e difusao impedida
135 '
140 '  Solucao: Metodo numerico das diferencias finitas
145 '        Procedimento de Crank-Nicolson
150 '
155 '  Doutorando: Enrique Ortega
160 '  Orientadora: Maria Angela Petenate
165 '  Colaboracao: Fernando Cabral
170 '                Joelma Gouveia, Renata Zangelmi
175 '
180 '  DEA/FEA/Unicamp  13 de setembro de 1989
185 ' -----
190 '
195 '  Equacao de transporte: E.D.P. de um processo transiente de lavagem
200 '                        convectiva e difusao impedida numa esfera.
205 '
210 '  Para:  $T > 0$  e  $0 \leq Y \leq 1$     $d^2C/dY^2 + 2/Y * dC/dY = F(Beta, C) dC/dT$ 
215 '
220 '  Onde:  $C = c/cT0$    ;  $c$  = conc. soluto no liquido intercelular
225 '                ;  $cT0$  = conc. total no instante inicial
230 '         $Y = r/R$    ; Como ha simetria considera-se, no raio da esfera,
235 '                ; unicamente o sentido positivo.       $R$  = raio total
240 '         $T = Dt/R^2$  ;  $T$  = numero de Fick    $D$  = difusividade =  $Ds/tortuosidade$ 
245 '                ;  $Ds$  = difusividade livre
250 '                ;  $e$  = porosidade       $De = e * D$  = difusividade efetiva
255 '
260 '   $F(Beta, C) = (1 + (beta * m * CM)) / (1 + beta * C^2)$ 
265 '
270 '   $e = 0.3$    $m = (1 - e) / e = 2.333$    $CM$  = concentracao adimensional maxima = 1.4
275 '  Beta ---> valor calculado atraves de ajuste grafico dos dados
280 '
285 '  Condicoes iniciais:
290 '  p/  $T = 0$  e  $Y = 1$        $C = 1$ 
295 '  Condicoes de contorno:
300 '  p/  $Y = 0$  e  $T > 0$        $dC/dY = 0$ 
305 '  p/  $Y = 1$  e  $T > 0$       temos:  $(DA/R) dC/dY = kA(C - Cfs/Kp)$ 
310 '        porem considerando:  $Cfs = re/delta$ 
315 '                         $re$  = rendimento
320 '                         $delta$  = volume liquido/volume solido
325 '  e pela definicao de Biot:  $Bi = kR/D$ 
330 '        temos afinal:  $dC/dY = Bi * (C - (re/delta/Kp))$ 
335 '
340 '  Fase inicial: tempo < tempo de lavagem      Beta = 0       $F(B, C) = 1$ 
345 '  Fase final   tempo > tempo de lavagem      Beta > 0       $F(B, C) > 1$ 
350 '
355 ' -----
360 '  PROGRAMA
365 ' -----

```

```

370 'GOSUB 815:' Preparacao da impressora --->modo condensado
375 GOSUB 1005:' Tela de apresentacao no monitor
380 '-----
385 '
390 '                                Dados experimentais
400 GOSUB 2010:FX=30:RY=340:GOTO 420
401 GOSUB 2015:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
402 GOSUB 2020:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
403 GOSUB 2025:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
404 GOSUB 2030:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
405 '
410 '-----
415 '
420 DEFINT "N,M" Variaveis pre-definidas como de numero inteiro
425 '
430 '-----
435 PRINT "      Valores iniciais considerados para as variaveis:"
440 PRINT ""
445 PRINT "Valor do Numero de Biot: Bi=k*R/D          Bi= ";;PRINT BI
450 PRINT "Valor do coeficiente de absorcao Beta      ";CHR$(225);"= ";;PRINT BETHA
454 PRINT "Valor do tempo de lavagem (minutos)        t1= ";;PRINT LT
455 PRINT "Incremento do tempo adimensional(Fick) lpcas=.01ldt= ";;PRINT DT
458 PRINT "Temperatura ( C)                          Te= ";;PRINT TE
460 PRINT "Valor do raio (m)                          Ra= ";;PRINT RA
465 PRINT "Valor da porosidade                        e= ";;PRINT E
470 PRINT "Valor da difusividade efetiva (m^2/s)      Dex[10^+10]= ";;PRINT DE
478 'D$=STR$(DD):DE$=D$+"D-10":DE=VAL(DE$)
480 D=(DE/E):TL=10*D*60*LT/RA^2:M=(1-E)/E:KB=1.4*M:'PRINT D:TL:M:KB
485 PRINT "Limite inferior de C(N+1) lpcas=.011      Li= ";;PRINT LI
490 PRINT "Intervalo de impressao lpcas=101:         PX=";;PRINT " 10":PX=10
495 PRINT "Numero de intervalos nodais lpcas=10):      N= ";;PRINT "10":N=10
500 DY=1/N:TT=DT*PX:TAU=DT/(DY^2):TETA=.5
505 PRINT "Avanco no raio: dY=1/N                    dY=";;PRINT DY
510 PRINT "Avanco no tempo na impressao:\T=dt*PX /\T= ";;PRINT USING "#.##":TT
515 '
520 PRINT "-----> Tecle algo para avancar! ";A$=INPUT$(1)
525 '-----
530 '      Dimensionalizacao das variaveis do programa de calculo
535 I=N+1
540 DIM A(I),B(I),C(I),D(I),GAMA(I),BETA(I),V(I),U(I),F(I),IN(I),FB(I)
545 KK=7: DIM X1(KK),Y1(KK),AA(KK),OO(KK)
560 '-----
565 'GOSUB 905:' Impressao de cabecalho
570 '-----
575 GOSUB 1275:' Impressao de marcos para graficos no monitor
580 DY=1/N:TT=DT*PX:TAU=DT/(DY^2):TETA=.5
581 D=(DE/E):TL=10*D*60*LT/RA^2:M=(1-E)/E:KB=1.4*M
582 W=-1:'      Valor inicial do contador
583 GOSUB 1495:' Coloca pontos experimentais
585 '-----
590 '      Calculo dos valores da concentracao ao longo do raio
595 '
600 '      Valor inicial do perfil
605 T=0:'Tempo igual a zero
610 FOR I=1 TO N+1

```

```

615 U(I)=1:V(I)=1
620 NEXT I
625 'GOSUB 960:' Impressao de valores iniciais do perfil
630 '
635 '          Calculo do valor medio da funcao de beta
640 Z=0:AC=0
645 FOR I=1 TO N+1:Z=U(I):AC=AC+Z:NEXT I
650 CZ=AC/(N+1):FB=1+((KB*BETA)/(1+BETA*(CZ)^2))
655 LOCATE 1,67:PRINT USING "###.###":FB
660 '
665 '          No centro da particula:
670 B(1)=1 + 2*(TAU/FB)*TETA
675 C(1)=-2*(TAU/FB)*TETA
680 D(1)=(1-2*(TAU/FB)*(1-TETA))*U(1)+2*(TAU/FB)*(1-TETA)*U(2)
685 '
690 '          Nos pontos internos:
695 FOR I=2 TO N
700 A(I)=-(TAU/FB)*(TETA)*((I-2)/(I-1))
705 B(I)=1+(2*(TAU/FB)*TETA)
710 C(I)=-(TAU/FB)*(TETA)*(I/(I-1))
715     D(I)=(TAU/FB)*(1-TETA)*((I-2)/(I-1))*U(I-1)+(1-(2*(TAU/FB)*(1-TETA)))*U(I)+((TAU/FB)*(1-
TETA))*(I/(I-1))*U(I+1)
720 NEXT I
725 '          Na parede da esfera
730 I=N+1
735 A(I)=-2*(TAU/FB)*TETA
740 B(I)=2*(TAU/FB)*(TETA)*(1+H*DY*((N+1)/N))+1
745 D(I)=2*(TAU/FB)*(1-TETA)*U(N)+(1-(2*(TAU/FB)*(1-TETA)*(1+BI*DY*((N+1)/N))))*U(I)
750 '
755 '-----
760 GOSUB 905:' Processamento da matriz tridiagonal
765 '-----
770 W=W+1:' Atualizacao do Contador
775 LOCATE 2,77:PRINT W:' Mostra valor do contador
780 '-----
785 IF W < PX THEN 825:'Se W <PX continua rodando ate W=PX dando incremento DT
790 '-----
795 '          No caso que o contador W atingir o valor PX (default 10)
800 GOSUB 1190:' Calculo do rendimento
805 'GOSUB 960:' Subrotina de impressao de resultados
810 GOSUB 1560:' Subrotina de trazado de curvas no monitor
815 W=0:' Zera o contador e retorna o incremento do tempo adimensional
820 '-----
825 T=T+DT:' Somente de um incremento no tempo adimensional DT
830 '          Atualiza valores do perfil de concentracoes
835 FOR I=1 TO N+1
840 U(I)=V(I)
845 NEXT I
850 '          Verifica valor da concentracao inferior pre-fixada
855 IF U(1)<=LI THEN 890:' Fim do calculo de um metodo
860 '          Calcula Beta de acordo com fase de lavagem
865 IF T<TL THEN BETA=0 ELSE BETA=BETHA
870 GOTO 640:' Prosegue o calculo do perfil de concentracoes
875 '-----
880 '          Fim do processo de calculo de um grafico

```

```

885 '
890 BEEP:IF JJ=1 THEN 401:
891 BEEP:IF JJ=2 THEN 402:
892 BEEP:IF JJ=3 THEN 403:
893 BEEP:IF JJ=4 THEN 404:
894 BEEP:IF JJ=5 THEN CLOSE :W$=INPUT$(1):KEY ON :SCREEN 0:STOP
898 '-----
900 'SUBROTINAS:
905 '----- Sub rotina de resolucao da matriz tridiagonal-----
910 F=1 : FL=N+1
915 BETA(F)=B(F) : GAMA(F)=D(F)/BETA(F)
920 FP1=F+1
925 FOR I=FP1 TO FL
930 Z=I-1
935 BETA(I)=B(I)-A(I)*C(Z)/BETA(Z)
940 GAMA(I)=(D(I)-A(I)*GAMA(Z))/BETA(I)
945 NEXT I
950 V(FL)=GAMA(FL)
955 FOR K=1 TO (FL-F)
960 I=FL-K : Q=I+1
965 V(I)=GAMA(I)-C(I)*V(Q)/BETA(I)
970 NEXT K
975 RETURN
980 '----- Subrotina de preparacao da impressora -----
985 'WIDTH "LPT1:",255
990 'OPEN "LPT1:" AS #1
995 'LPRINT CHR$(27)+CHR$(15);
1000 'RETURN
1005 '----- Subrotina de tela para entrada de dados -----
1010 '
1015 CLS:LOCATE 1,5:C$="-":A$=STRING$(79,C$):KEY OFF
1020 PRINT A$
1025 PRINT""
1030 PRINT"          EXTRACAO COM AGUA DOS SOLUTOS DA CANA DE ACUCAR"
1035 PRINT"          Metodo de Crank-Nicolson... restricao: Bi<30"
1045 PRINT""
1050 PRINT A$
1055 RETURN
1060 '----- Subrotina de cabecalho -----
1065 '
1070 PRINT #1,CHR$(10):PRINT #1,CHR$(10):D$=STRING$(130,C$)
1075 PRINT #1,D$:CHR$(10)
1080 PRINT #1,"Biot=";BI;" Beta=";BETA;" TL=";TL;" dT=";DT;" dY=";DY;
1085 PRINT #1," Tau=";TAU;" Nodos (N+1)=";N+1;" PX=";PX;" LI=";LI;CHR$(10)
1090 PRINT #1,D$:CHR$(10)
1095 PRINT #1,"RESULTADOS: PERFIL DA CONCENTRACAO AO LONG O
D O R A I O E M C A D A T E M P O";CHR$(10)
1100 PRINT #1,"T" TAB(10) "Y= 0" TAB(20) "Y=.1" TAB(30) "Y=.2" TAB(40) "Y=.3" TAB(50) "Y=.4";
1105 PRINT #1,TAB(60) "Y=.5" TAB(70) "Y=.6" TAB(80) "Y=.7" TAB(90) "Y=.8" TAB(100) "Y=.9" TAB(110)
"Y= 1" TAB(120) "REND";CHR$(10)
1110 RETURN
1115 '----- Subrotina de impressao de resultados -----
1120 'PRINT #1,TAB(0) USING "%.###";T;
1125 'PRINT #1,TAB(10) USING "%.####";V(1);
1130 'PRINT #1,TAB(20) USING "%.####";V(2);

```

```

1135 'PRINT #1,TAB(30) USING "#.####";V(3);
1140 'PRINT #1,TAB(40) USING "#.####";V(4);
1145 'PRINT #1,TAB(50) USING "#.####";V(5);
1150 'PRINT #1,TAB(60) USING "#.####";V(6);
1155 'PRINT #1,TAB(70) USING "#.####";V(7);
1160 'PRINT #1,TAB(80) USING "#.####";V(8);
1165 'PRINT #1,TAB(90) USING "#.####";V(9);
1170 'PRINT #1,TAB(100) USING "#.####";V(10);
1175 'PRINT #1,TAB(110) USING "#.####";V(11);
1180 'PRINT #1,TAB(120) USING "#.####";RE;:PRINT #1,CHR$(10)
1185 RETURN
1190 '-----Subrotina de calculo do rendimento-----
1195 '           Metodo de Runge-Kuta de quarta ordem
1200 '
1205 PP=1-(2^.5)/2;QQ=1+(2^.5)/2
1210 FOR G=1 TO 11
1215 F(G)=V(G)*(((G-1)*DY)^2)
1220 NEXT G
1225 IN(1)=0
1230 FOR J=3 TO 11 STEP 2
1235 K1=2*DY*F(J-2)
1240 K2=2*DY*F(J-1)
1245 K3=K2
1250 K4=2*DY*F(J)
1255 IN(J)=(IN(J-2))+((K1+K4)/6)+(((PP*K2)+(QQ*K3))/3)
1260 NEXT J
1265 RE=1-3*(IN(11))
1270 RETURN
1275 '-----Elaboracao do grafico no monitor-----
1280 CLS: SCREEN 2: WIDTH 80
1285 OPEN "SCRN:" FOR OUTPUT AS #2
1290 LINE (30,20)-(630,180),,B
1300 FOR KX=50 TO 610 STEP 20
1305 LINE (KX,20)-(KX,23)
1310 LINE (KX,177)-(KX,180)
1315 NEXT KX
1340 GG=444444
1345 FOR KX=130 TO 530 STEP 100
1350 LINE (KX,20)-(KX,180),,GG
1355 NEXT KX
1360 FOR KX=36 TO 164 STEP 16
1365 LINE (30,KX)-(34,KX)
1380 LINE (626,KX)-(630,KX)
1385 NEXT KX
1405 LOCATE 3,2:PRINT#2,"1"
1410 LOCATE 6,1:PRINT#2,"RE"
1415 LOCATE 13,1:PRINT#2,".75"
1420 LOCATE 23,1:PRINT#2,".5"
1425 LOCATE 25,1:PRINT#2,"  0      5      10      "
1430 LOCATE 25,40:PRINT#2," 15      20      tempo(minutos)  30"
1435 LOCATE 1,3:PRINT#2,"Biot=";BI:LOCATE 1,15:PRINT#2,"De=";DE
1440 LOCATE 1,29:PRINT "T(C)=";TE:LOCATE 2,23:PRINT " R=";RA
1445 LOCATE 2,3:PRINT#2,"Beta=";BETA:LOCATE 2,16:PRINT#2,"e=";E
1450 LOCATE 1,41:PRINT#2,"FL=";LOCATE 1,50:PRINT#2,"(   min)"
1455 LOCATE 2,39:PRINT#2,"Fick="; LOCATE 2,50:PRINT#2,"(   min)"

```

```

1460 LOCATE 1,63:PRINT #2,"FE=":LOCATE 1,75:PRINT#2,"J=";JJ
1465 LOCATE 2,63:PRINT #2,"FX=":LOCATE 2,75:PRINT#2,"W="
1470 FX=30:RY=340
1475 LOCATE 1,45:PRINT USING "##.##";TL:LOCATE 1,51:PRINT USING "##.##";LT
1480 LOCATE 2,45:PRINT USING "##.##";T:LOCATE 2,51:PRINT USING "##.##";MIN
1485 LOCATE 2,68:PRINT USING "####";FX
1490 RETURN
1495 '----- Sub rotina de trazado de pontos -----
1500 KK=7
1505 FOR I=1 TO KK
1510 READ X1(I),Y1(I):
1515 AA(I)=20*X1(I)/30:OO(I)=10*Y1(I)
1520 CIRCLE(AA(I)*30+30,340-OO(I)*32),5,,,,.5
1525 PSET(AA(I)*30+30,340-OO(I)*32)
1530 PSET(AA(I)*30+31,340-OO(I)*32)
1535 PSET(AA(I)*30+29,340-OO(I)*32)
1540 PSET(AA(I)*30+30,341-OO(I)*32)
1545 PSET(AA(I)*30+30,339-OO(I)*32)
1550 NEXT I
1555 RETURN
1560 '----- Sub rotina de trazado de curvas -----
1570 MIN=T*RA^2/(D*60)
1575 RE=320*RE
1580 IF RE>160 AND FX>40 THEN 1585 ELSE 1590
1585 LINE (FX,RY)-(30+(2*MIN),340-(RE*320))
1590 FX=30+(2*MIN)
1595 IF FX >630 THEN 890
1600 RY=340-(RE*320)
1605 LOCATE 2,3:PRINT#2,"Beta=";BETA
1610 LOCATE 2,45:PRINT USING "##.##";T:
1615 LOCATE 2,51:PRINT USING "##.##";MIN/10
1620 'LOCATE 2,68:PRINT USING "##.##";RE
1735 LOCATE 1,3:PRINT#2,"Biot=";BI:LOCATE 1,15:PRINT#2,"De=";DE
1740 LOCATE 1,29:PRINT "T(C)=";TE:LOCATE 2,23:PRINT " R=";RA
1745 LOCATE 2,3:PRINT#2,"Beta=";BETA:LOCATE 2,16:PRINT#2,"e=";E
1775 LOCATE 1,45:PRINT USING "##.##";TL:LOCATE 1,51:PRINT USING "##.##";LT
1780 LOCATE 2,45:PRINT USING "##.##";T
1785 LOCATE 2,68:PRINT USING "####";FX
1790 RETURN
1795 '-----
2000 ' Entrada de dados iniciais:
2002 '-----
2003 ' Raios: .0005, .0006, .0008, .00095 e .00125 m
2004 ' Temperatura constante de 23 C
2005 '-----
2010 DATA 0,0,3,.625,5,.69,10,.750,15,.770,20,.790,30,.800: TE=23: DE=2.8E-10: BI=.5
:BETHA=8: LT=5: DT=.05: RA=.00125:E=.3:LI=.01:JJ=1:RETURN
2015 DATA 0,0,3,.700,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.850: TE=23: DE=2.3E-10:
BI=.44:BETHA=12: LT=4.8:DT=.05: RA=.00095:E=.3:LI=.01:JJ=2:RETURN
2020 DATA 0,0,3,.730,5,.81,10,.850,15,.860,20,.875,30,.885: TE=23: DE=2.01E-10: BI=.4
:BETHA=9: LT=4.9:DT=.05:PLAY"ASC":RA=.0008 :E=.3:LI=.01:JJ=3:RETURN
2025 DATA 0,0,3,.800,5,.86,10,.910,15,.920,20,.925,30,.930: TE=23: DE=1.5E-10: BI=.4
:BETHA=8.5:LT=4.6:DT=.05: RA=.000601:E=.3:LI=.01:JJ=4:RETURN
2030 DATA 0,0,3,.850,5,.89,10,.930,15,.940,20,.945,30,.950: TE=23: DE=1.25E-10: BI=.4
:BETHA=6.5:LT=4: DT=.05: RA=.0005 :E=.3:LI=.01:JJ=5:RETURN

```

```

100 ' Programa BIBETEMP.BAS      GNBASIC(BASICA)
105 ' -----
110 '
115 ' EXTRACAO SOLIDO-LIQUIDO DE AÇUCAR DE CANA EM BATELADA
120 '
125 ' Caso: Transferencia de massa numa esfera porosa solida
130 '       Lavagem com difusao livre e difusao impedida
135 '
140 ' Solucao: Metodo numerico das diferencias finitas
145 '       Procedimento de Crank-Nicolson
150 '
155 ' Doutorandos: Enrique Ortega
160 ' Orientadora: Maria Angela Petenate
165 ' Colaboracao: Fernando Cabral
170 '              Joelma Gouveia, Renata Zangelmi
175 '
180 ' DEB/FEA/Unicamp  13 de setembro de 1989
185 ' -----
190 '
195 ' Equacao de transportes: E.D.P. de um processo transiente de lavagem
200 '                        convectiva e difusao impedida numa esfera.
205 '
210 ' Para:  $T > 0$  e  $0 \leq Y \leq 1$   $d^2C/dY^2 + 2/Y * dC/dY = F(\text{Beta}, C) dC/dT$ 
215 '
220 ' Onde:  $C = c/cT0$     $c$  = conc. soluto no liquido intercelular
225 '            $cT0$  = conc. total no instante inicial
230 '        $Y = r/R$       $r$  = Como ha simetria considera-se, no raio da esfera,
235 '                   unicamente o sentido positivo.       $R$  = raio total
240 '        $T = Dt/R^2$    $T$  = numero de Fick    $D$  = difusividade =  $Ds/\text{tortuosidade}$ 
245 '                    $Ds$  = difusividade livre
250 '                    $e$  = porosidade       $De = e * D$  = difusividade efetiva
255 '
260 '  $F(\text{Beta}, C) = (1 + (\text{beta} * m * CM)) / (1 + \text{beta} * C^2)$ 
265 '
270 '  $e = 0.3$    $m = [(1-e)/e] = 2.333$    $CM$  = concentracao adimensional maxima = 1.4
275 ' Beta ---> valor calculado atraves de ajuste grafico dos dados
280 '
285 ' Condiçoes iniciais:
290 '   p/  $T = 0$  e  $Y = 1$             $C = 1$ 
295 ' Condiçoes de contorno:
300 '   p/  $Y = 0$  e  $T > 0$             $dC/dY = 0$ 
305 '   p/  $Y = 1$  e  $T > 0$        temos:  $(DA/R) dC/dY = kAIC - Cfs/Kp$ 
310 '           porem considerando:  $Cfs = re/\delta$ 
315 '                                $re$  = rendimento
320 '                                $\delta$  = volume liquido/volume solido
325 '   e pela definicao de Biot:  $Bi = kR/D$ 
330 '           temos afinal:  $dC/dY = Bi * [C - (re/\delta/Kp)]$ 
335 '
340 ' Fase inicial: tempo < tempo de lavagem      Beta=0      F(B,C)=1
345 ' Fase final   tempo > tempo de lavagem      Beta(>0)    F(B,C)>1
350 '
355 ' -----
360 ' PROGRAMA
365 ' -----

```



```

370 'GOSUB 815:' Preparacao da impressora --->modo condensado
375 GOSUB 1005:' Tela de apresentacao no monitor
380 '-----
385 '
390 '                                Dados experimentais
400 GOSUB 2040:FX=30:RY=340:GOTO 420
401 GOSUB 2045:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
402 GOSUB 2050:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
403 GOSUB 2055:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
404 GOSUB 2060:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
405 GOSUB 2065:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
406 GOSUB 2070:LOCATE 1,77:PRINT JJ:FX=30:RY=340:GOTO 580
407 '
410 '-----
415 '
420 DEFINT N,W:' Variaveis pre-definidas como de numero inteiro
425 '
430 '-----
435 PRINT "      Valores iniciais considerados para as variaveis:"
440 PRINT ""
445 PRINT "Valor do Numero de Biot: Bi=k*R/D          Bi= "':PRINT BI
450 PRINT "Valor do coeficiente de absorcao Beta      ";CHR$(225);"=" "':PRINT BETHA
454 PRINT "Valor do tempo de lavagem (minutos)        tl= "':PRINT LT
455 PRINT "Incremento do tempo adimensional(Fick)lopcao=.01ldt= "':PRINT DT
458 PRINT "Temperatura ( C)                          Te= "':PRINT TE
460 PRINT "Valor do raio (m)                          Ra= "':PRINT RA
465 PRINT "Valor da porosidade                       e= "':PRINT E
470 PRINT "Valor da difusividade efetiva (m^2/s)      Dex(10^+10)= "':PRINT DE
478 'D$=STR$(DD):DE$=D$+"D-10":DE=VAL(DE$)
480 D=(DE/E):TL=10*D*60*LT/RA^2:M=(1-E)/E:KB=1.4*M:'PRINT D;TL;M;KB
485 PRINT "Limite inferior de C(N+1) lopcao=.011      Li= "':PRINT LI
490 PRINT "Intervalo de impressao lopcao=101:        PX="':PRINT " 10":PX=10
495 PRINT "Numero de intervalos nodais lopcao=10):    N= "':PRINT "10":N=10
500 DY=1/N:TT=DT*PX:TAU=DT/(DY^2):TETA=.5
505 PRINT "Avanco no raio: dY=1/N                    dY="':PRINT DY
510 PRINT "Avanco no tempo na impressao:/\T=dT*PX /\T= "':PRINT USING "#.##";TT
515 '
520 PRINT "-----> Tecle algo para avançar! "':A$=INPUT$(1)
525 '-----
530 '      Dimensionalizacao das variaveis do programa de calculo
535 I=N+1
540 DIM A(I),B(I),C(I),D(I),GAMA(I),BETA(I),V(I),U(I),F(I),IN(I),FB(I)
545 KK=7: DIM X1(KK),Y1(KK),AA(KK),OO(KK)
560 '-----
565 'GOSUB 905:' Impressao de cabecalho
570 '-----
575 GOSUB 1275:' Impressao de marcoss para graficos no monitor
580 DY=1/N:TT=DT*PX:TAU=DT/(DY^2):TETA=.5
581 D=(DE/E):TL=10*D*60*LT/RA^2:M=(1-E)/E:KB=1.4*M
582 W=-1:'      Valor inicial do contador
583 GOSUB 1495:' Coloca pontos experimentais
585 '-----
590 '      Calculo dos valores da concentracao ao longo do raio
595 '
600 '      Valor inicial do perfil

```

```

605 T=0: 'Tempo igual a zero
610 FOR I=1 TO N+1
615 U(I)=1:V(I)=1
620 NEXT I
625 'GOSUB 960: ' Impressao de valores iniciais do perfil
630 '
635 '          Calculo do valor medio da funcao de beta
640 Z=0:AC=0
645 FOR I=1 TO N+1:Z=U(I):AC=AC+Z:NEXT I
650 CZ=AC/(N+1):FB=1+((KB*BETA)/(1+BETA*(CZ)^2))
655 LOCATE 1,67:PRINT USING "##.###":FB
660 '
665 '          No centro da partícula:
670 B(1)=1 + 2*(TAU/FB)*TETA
675 C(1)=-2*(TAU/FB)*TETA
680 D(1)=(1-2*(TAU/FB)*(1-TETA))*U(1)+2*(TAU/FB)*(1-TETA)*U(2)
685 '
690 '          Nos pontos internos:
695 FOR I=2 TO N
700 A(I)=-(TAU/FB)*(TETA)*((I-2)/(I-1))
705 B(I)=1+(2*(TAU/FB)*TETA)
710 C(I)=-(TAU/FB)*(TETA)*(I/(I-1))
715     D(I)=(TAU/FB)*(1-TETA)*((I-2)/(I-1))*U(I-1)+(1-(2*(TAU/FB)*(1-TETA)))*U(I)+((TAU/FB)*(1-
TETA))*(I/(I-1))*U(I+1)
720 NEXT I
725 '          Na parede da esfera
730 I=N+1
735 A(I)=-2*(TAU/FB)*TETA
740 B(I)=2*(TAU/FB)*(TETA)*(1+H*DY*((N+1)/N))+1
745 D(I)=2*(TAU/FB)*(1-TETA)*U(N)+(1-(2*(TAU/FB)*(1-TETA)*(1+BI*DY*((N+1)/N))))*U(I)
750 '
755 '-----
760 GOSUB 905: '   Processamento da matriz tridiagonal
765 '-----
770 W=W+1: '          Atualizacao do Contador
775 LOCATE 2,77:PRINT W: '      Mostra valor do contador
780 '-----
785 IF W < PX THEN 825: 'Se W <PX continua rodando ate W=PX dando incremento DT
790 '-----
795 '          No caso que o contador W atingir o valor PX (default 10)
800 GOSUB 1190: '   Calculo do rendimento
805 'GOSUB 960: '   Subrotina de impressao de resultados
810 GOSUB 1560: '   Subrotina de trazado de curvas no monitor
815 W=0: '          Zera o contador e retoma o incremento do tempo adimensional
820 '-----
825 T=T+DT: '          Somena de um incremento no tempo adimensional DT
830 '          Atualiza valores do perfil de concentracoes
835 FOR I=1 TO N+1
840 U(I)=V(I)
845 NEXT I
850 '          Verifica valor da concentracao inferior pre-fixada
855 IF U(1)<=LI THEN 890: '   Fim do calculo de um metodo
860 '          Calcula Beta de acordo com fase de lavagem
865 IF T<TL THEN BETA=0 ELSE BETA=BETHA
870 GOTO 640: '   Prosegue o calculo do perfil de concentracoes

```

```

875 '-----
880 '           Fim do processo de calculo de um grafico
885 '
890 BEEP:IF JJ=1 THEN 401:
891 BEEP:IF JJ=2 THEN 402:
892 BEEP:IF JJ=3 THEN 403:
893 BEEP:IF JJ=4 THEN 404:
894 BEEP:IF JJ=5 THEN 405:
896 BEEP:IF JJ=6 THEN 406:
897 BEEP:IF JJ=7 THEN CLOSE :W$=INPUT$(1):KEY ON :SCREEN 0:STOP
898 '
899 '-----
900 'SUBROTINAS:
905 '----- Sub rotina de resolucao da matriz tridiagonal-----
910 F=1 : FL=N+1
915 BETA(F)=B(F) : GAMA(F)=D(F)/BETA(F)
920 FP1=F+1
925 FOR I=FP1 TO FL
930 Z=I-1
935 BETA(I)=B(I)-A(I)*C(Z)/BETA(Z)
940 GAMA(I)=(D(I)-A(I)*GAMA(Z))/BETA(I)
945 NEXT I
950 V(FL)=GAMA(FL)
955 FOR K=1 TO (FL-F)
960 I=FL-K : Q=I+1
965 V(I)=GAMA(I)-C(I)*V(Q)/BETA(I)
970 NEXT K
975 RETURN
980 '----- Subrotina de preparacao da impressora -----
985 'WIDTH "LPT1:",255
990 'OPEN "LPT1:" AS #1
995 'LPRINT CHR$(27)+CHR$(15);
1000 'RETURN
1005 '----- Subrotina de tela para entrada de dados -----
1010 ' "
1015 CLS:LOCATE 1,5:C$="-":A$=STRING$(79,C$):KEY OFF
1020 PRINT A$
1025 PRINT""
1030 PRINT"           EXTRACAO COM AGUA DOS SOLUTOS DA CANA DE ACUCAR"
1035 PRINT"           Metodo de Crank-Nicolson... restricao: Bi<30"
1045 PRINT""
1050 PRINT A$
1055 RETURN
1060 '----- Subrotina de cabecalho -----
1065 '
1070 PRINT #1,CHR$(10):PRINT #1,CHR$(10):D$=STRING$(130,C$)
1075 PRINT #1,D$:CHR$(10)
1080 PRINT #1,"Biot=";BI;" Beta=";BETA;" TL=";TL;" dT=";DT;" dY=";DY;
1085 PRINT #1," Tau=";TAU;" Nodos (N+1)=";N+1;" PX=";PX;" LI=";LI:CHR$(10)
1090 PRINT #1,D$:CHR$(10)
1095 PRINT #1,"RESULTADOS: PERFIL DA CONCENTRACAO AO LONGO
DO RAIO EM CADA TEMP O":CHR$(10)
1100 PRINT #1,"T" TAB(10) "Y= 0" TAB(20) "Y=.1" TAB(30) "Y=.2" TAB(40) "Y=.3" TAB(50) "Y=.4";
1105 PRINT #1,TAB(60) "Y=.5" TAB(70) "Y=.6" TAB(80) "Y=.7" TAB(90) "Y=.8" TAB(100) "Y=.9" TAB(110)
"Y= 1" TAB(120) "END":CHR$(10)

```

```

1110 RETURN
1115 '----- Subrotina de impressao de resultados -----
1120 'PRINT #1,TAB(0) USING "#.###";T;
1125 'PRINT #1,TAB(10) USING "#.###";V(1);
1130 'PRINT #1,TAB(20) USING "#.###";V(2);
1135 'PRINT #1,TAB(30) USING "#.###";V(3);
1140 'PRINT #1,TAB(40) USING "#.###";V(4);
1145 'PRINT #1,TAB(50) USING "#.###";V(5);
1150 'PRINT #1,TAB(60) USING "#.###";V(6);
1155 'PRINT #1,TAB(70) USING "#.###";V(7);
1160 'PRINT #1,TAB(80) USING "#.###";V(8);
1165 'PRINT #1,TAB(90) USING "#.###";V(9);
1170 'PRINT #1,TAB(100) USING "#.###";V(10);
1175 'PRINT #1,TAB(110) USING "#.###";V(11);
1180 'PRINT #1,TAB(120) USING "#.###";RE;PRINT #1,CHR$(10)
1185 RETURN
1190 '-----Subrotina de calculo do rendimento-----
1195 '          Metodo de Runge-Kuta de quarta ordem
1200 '
1205 PP=1-(2^.5)/2;QQ=1+(2^.5)/2
1210 FOR G=1 TO 11
1215 F(G)=V(G)*((G-1)*DY)^2)
1220 NEXT G
1225 IN(1)=0
1230 FOR J=3 TO 11 STEP 2
1235 K1=2*DY*F(J-2)
1240 K2=2*DY*F(J-1)
1245 K3=K2
1250 K4=2*DY*F(J)
1255 IN(J)=(IN(J-2))+((K1+K4)/6)+(((PP*K2)+(QQ*K3))/3)
1260 NEXT J
1265 RE=1-3*(IN(11))
1270 RETURN
1275 '----- Elaboracao do grafico no monitor -----
1280 CLS: SCREEN 2: WIDTH 80
1285 OPEN "SCRN:" FOR OUTPUT AS #2
1290 LINE (30,20)-(630,180),,B
1300 FOR KX=50 TO 610 STEP 20
1305 LINE (KX,20)-(KX,23)
1310 LINE (KX,177)-(KX,180)
1315 NEXT KX
1340 GG=&HAAAA
1345 FOR KX=130 TO 530 STEP 100
1350 LINE (KX,20)-(KX,180),,GG
1355 NEXT KX
1360 FOR KX=36 TO 164 STEP 16
1365 LINE (30,KX)-(34,KX)
1380 LINE (626,KX)-(630,KX)
1385 NEXT KX
1405 LOCATE 3,2:PRINT#2,"1"
1410 LOCATE 6,1:PRINT#2,"RE"
1415 LOCATE 13,1:PRINT#2,".75"
1420 LOCATE 23,1:PRINT#2,".5"
1425 LOCATE 25,1:PRINT#2," 0          5          10          15"
1430 LOCATE 25,40:PRINT#2," 15          20      tempo(minutos)  30"

```

```

1435 LOCATE 1,3:PRINT#2,"Biot=";BI:LOCATE 1,15:PRINT#2,"De=";DE
1440 LOCATE 1,29:PRINT "T(C)=";TE:LOCATE 2,23:PRINT " R=";RA
1445 LOCATE 2,3:PRINT#2,"Beta=";BETA:LOCATE 2,16:PRINT#2,"e=";E
1450 LOCATE 1,41:PRINT#2,"FL=";LOCATE 1,50:PRINT#2,"( min)"
1455 LOCATE 2,39:PRINT#2,"Fick="; LOCATE 2,50:PRINT#2,"( min)"
1460 LOCATE 1,63:PRINT #2,"FB=";LOCATE 1,75:PRINT#2,"J=";JJ
1465 LOCATE 2,63:PRINT #2,"FX=";LOCATE 2,75:PRINT#2,"W="
1470 FX=30:RY=340
1475 LOCATE 1,45:PRINT USING "##.##";TL:LOCATE 1,51:PRINT USING "##.##";LT
1480 LOCATE 2,45:PRINT USING "##.##";T:LOCATE 2,51:PRINT USING "##.##";MIN
1485 LOCATE 2,68:PRINT USING "####";FX
1490 RETURN
1495 '----- Sub rotina de trazado de pontos -----
1500 KK=7
1505 FOR I=1 TO KK
1510 READ X1(I),Y1(I):
1515 AA(I)=20*X1(I)/30:OO(I)=10*Y1(I)
1520 CIRCLE(AA(I)*30+30,340-OO(I)*32),5,,,,.5
1525 PSET(AA(I)*30+30,340-OO(I)*32)
1530 PSET(AA(I)*30+31,340-OO(I)*32)
1535 PSET(AA(I)*30+29,340-OO(I)*32)
1540 PSET(AA(I)*30+30,341-OO(I)*32)
1545 PSET(AA(I)*30+30,339-OO(I)*32)
1550 NEXT I
1555 RETURN
1560 '----- Sub rotina de trazado de curvas -----
1570 MIN=T*RA^2/(O*60)
1575 REO=320*RE
1580 IF REO>160 AND FX>40 THEN 1585 ELSE 1590
1585 LINE (FX,RY)-(30+(2*MIN),340-(RE*320))
1590 FX=30+(2*MIN)
1595 IF FX >630 THEN 890
1600 RY=340-(RE*320)
1605 LOCATE 2,3:PRINT#2,"Beta=";BETA
1610 LOCATE 2,45:PRINT USING "##.##";T:
1615 LOCATE 2,51:PRINT USING "##.##";MIN/10
1620 'LOCATE 2,68:PRINT USING "##.##";RE
1735 LOCATE 1,3:PRINT#2,"Biot=";BI:LOCATE 1,15:PRINT#2,"De=";DE
1740 LOCATE 1,29:PRINT "T(C)=";TE:LOCATE 2,23:PRINT " R=";RA
1745 LOCATE 2,3:PRINT#2,"Beta=";BETA:LOCATE 2,16:PRINT#2,"e=";E
1775 LOCATE 1,45:PRINT USING "##.##";TL:LOCATE 1,51:PRINT USING "##.##";LT
1780 LOCATE 2,45:PRINT USING "##.##";T
1785 LOCATE 2,68:PRINT USING "####";FX
1790 RETURN
1795 '-----
2000 ' Entrada de dados iniciais:
2035 '-----
2037 ' Temperaturas:23,30,40,50,60,70 e 80 C
2038 ' Raio constante de .00095 m
2039 '-----
2040 DATA 0,0,3,.70,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.850: TE=23: DE=2.3E-10:
BI=.44:BETHA=12: LT=5: DT=.05:JJ=1: RA=.00095:E=.3:LI=.01:RETURN
2045 DATA 0,0,3,.79,5,.81,10,.840,15,.860,20,.870,30,.870: TE=30: DE=3.1E-10:
BI=.42:BETHA=12: LT=4: DT=.05:JJ=2: RA=.00095:E=.3:LI=.01:RETURN
2050 DATA 0,0,3,.80,5,.82,10,.850,15,. 70,20,.880,30,.890: TE=40: DE=3.35E-10:

```

BI=.41:BETHA=12: LT=4: DT=.05:JJ=3:	RA=.00095:E=.3:LI=.01:RETURN		
2055 DATA 0,0,3,.84,5,.87,10,.885,15,.890,20,.910,30,.920:		TE=50:	DE=4.3E-10:
BI=.35:BETHA=9: LT=4: DT=.05:JJ=4:	RA=.00095:E=.3:LI=.01:RETURN		
2060 DATA 0,0,3,.90,5,.93,10,.940,15,.950,20,.960,30,.965:		TE=60:	DE=6.3E-10:
BI=.3:BETHA=7.5:LT=4.3:DT=.05:JJ=5:	RA=.00095:E=.3:LI=.01:RETURN		
2065 DATA 0,0,3,.84,5,.87,10,.920,15,.920,20,.950,30,.950:		TE=70:	DE=4.4E-10:
BI=.32:BETHA=6.5:LT=5: DT=.05:JJ=6:	RA=.00095:E=.3:LI=.01:RETURN		
2070 DATA 0,0,3,.87,5,.91,10,.920,15,.950,20,.960,30,.965:		TE=80:	DE=5.15E-10:
BI=.31:BETHA=5: LT=4.8:DT=.05:JJ=7:	RA=.00095:E=.3:LI=.01:RETURN		
2075 -----			

```

100 ' Programa NEWMAN.BAS GW-Basic 20-09-89 E. Ortega
105 '-----
110 ' CALCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA POR AJUSTE DE DADOS:
111 '
115 ' O programa calcula o rendimento da extracao em funcao do tempo
120 ' para valores especificados de Biot e da difusividade efetiva
125 ' e compara os resultados com os dados experimentais,
127 ' na extracao com agua, em batelada, de particulas de cana de acucar
130 ' de pequeno tamanho, consideradas esfericas
131 '
135 '-----
140 ' Dimensionamento das variaveis
145 NV=30
150 DIM X(NV),Y(NV),XX(NV),YY(NV),ZZ(NV)
155 DIM GN(NV+1),SN(NV),CN(NV),FICK(NV),U(NV)
160 K=7
165 DIM X1(K),V1(K),AA(K),OO(K)
170 ' Preparacao da impressora
175 'LPRINT CHR$(15)
180 '
185 ' Entrada de dados iniciais:
190 '-----
195 'BIOT=.3: ALFA=2.9:R=.0005: DE=1.25E-10:DF=4.5E-14:L5=.88: N=30: K=7:TE=23: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.85,5,.89,10,.93,15,.94,20,.945,30,.95
200 'BIOT=.31:ALFA=2.9:R=.000601:DE=1.51E-10:DF=4.5E-14:L5=.86: N=30: K=7:TE=23: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.80,5,.86,10,.91,15,.92,20,.925,30,.93
205 'BIOT=.32:R=.0008: DE=1.75001E-10:TE=23: N=30: K=7:W=&HAAAA: DATA
0,0,3,.73,5,.81,10,.85,15,.86,20,.875,30,.885
210 'BIOT=.34:ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.41E-10:DF=4.5E-14:L5=.77 :N=30: K=7:TE=23: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.7,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.85
215 'BIOT=.345: ALFA=2.9:R=.00125:DE=2.9E-10:DF=4.5E-14:L5=.69 :N=30: K=7:TE=23: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.625,5,.69,10,.75,15,.77,20,.79,30,.80
220 '-----
225 'BIOT=.44:ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.31E-10:DF=20E-14: L5=.77:TE=23 :N=30: K=7: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.70,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.85
230 'BIOT=.42:ALFA=2.9:R=.00095:DE=3.01E-10:DF=8E-14: L5=.81:TE=30 :N=30: K=7: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.79,5,.81,10,.84,15,.86,20,.87,30,.87
235 'BIOT=.41:ALFA=2.9:R=.00095:DE=3.35E-10:DF=11.5E-14:L5=.82:TE=40 :N=30: K=7: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.80,5,.82,10,.85,15,.87,20,.880,30,.890
240 'BIOT=.35:ALFA=2.9:R=.00095:DE=4.31E-10:DF=11.5E-14:L5=.86:TE=50 :N=30: K=7: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.84,5,.87,10,.885,15,.890,20,.910,30,.920
245 'BIOT=.3: ALFA=2.9:R=.00095:DE=6.31E-10:DF=11.5E-14:L5=.905:TE=60:N=30: K=7: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.900,5,.93,10,.94,15,.95,20,.96,30,.965
250 'BIOT=.32:ALFA=2.9:R=.00095:DE=4.41E-10:DF=18E-14: L5=.87:TE=70 :N=30: K=7: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.84,5,.87,10,.920,15,.920,20,.950,30,.950
255 'BIOT=.31:ALFA=2.9:R=.00095:DE=5.15E-10:DF=22E-14: L5=.88:TE=80 :N=30: K=7: W=&HFFFF:
DATA 0,0,3,.87,5,.91,10,.920,15,.950,20,.960,30,.965
260 '-----
265 ' Obtencao dos valores de qn
270 J=1
275 Q=1.16
280 'PRINT "Para Biot=";BIOT
285 'PRINT "n","qn"
290 F=(COS(Q)/SIN(Q))-(1-BIOT)/Q

```

```

295 FL=-(1/(SIN(Q))^2)-(1-BIOT)/(Q^2)
300 A=Q
305 Q=A-F/FL
310 B=ABS(Q-A)
315 C=B/Q:
320 IF C<=.0001 GOTO 330
325 GOTO 290
330 QN(J)=Q:
335 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
340 J=J+1
345 IF J>N GOTO 360
350 Q=Q+3.15
355 GOTO 290
360 'LPRINT"calculo do grau de extracao vs tempo"
365 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA;"Biot= ";BIOT
370 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
375 FOR T=1 TO 30 STEP 1
380 ST=0
385 FOR I=1 TO 30 STEP 1
390 FICK(I)=DE*(QN(I)^2)*60*(T)/(R^2)
395 CN(I)=6*(BIOT^2)/(QN(I)^2)*(QN(I)^2*(BIOT-1))
400 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
405 ST=ST+SN(I)
410 NEXT I
415 U(T)=1-ST
420 'LPRINT TAB(10);T;
425 'LPRINT TAB(20) USING "####.##";FICK(N);
430 'LPRINT TAB(30) USING "#.###";U(T)
435 NEXT T
440 '
445 BEEP:LOCATE 23,1:PRINT"Desaja limpar a tela (S/N)? ";:
450 W$=INKEY$:IF W$="" THEN 450
455 IF W$="S" OR W$="s" THEN 480
460 IF W$="N" OR W$="n" THEN 485 ELSE 445
465 '
470 'LPRINT CHR$(10):LPRINT CHR$(10)
475 '
480 CLS
485 '
490 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
495 '
500 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=0: YMAX=1:L1=1
505 '----- ESCALAO -----
510 FOR I=1 TO 30:X(I)=I-L1:NEXT I
515 FOR I=1 TO 30:Y(I)=U(I):NEXT I
520 '----- ETIQUETAS -----
525 XX0=(XMIN+XMAX)/10:XX0=(XMIN+XMAX)/6
530 XX1=(XMIN+XMAX)/3:XX2=(XMIN+XMAX)/2: XX3=(XMIN+XMAX)/(3/2)
535 YY3=(YMIN+YMAX)/2
540 A$="TEMPO (MIN)"
545 B$="GRAU DE EXTRACAO"
550 '----- ESCALAS -----
555 FOR I=0 TO N
560 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
565 YY(I)=10*(Y(I)-YMIN)/(YMAX-YMIN)

```



```

570 NEXT I
575 '----- TELA GRAFICA -----
580 SCREEN 2 : WIDTH 80
585 '----- VALORES E MARCAS -----
590 G=LNAAAA
595 FOR I=150 TO 450 STEP 10
600 LINE (I,145)-(I,150)
605 IF I=150 THEN LOCATE 20,19-LEN(STR$(XMIN))/2 : PRINT XMIN;
610 IF I=180 THEN LOCATE 20,23-LEN(STR$(XX00))/2 : PRINT XX00;
615 IF I=200 THEN LOCATE 20,26-LEN(STR$(XX0))/2 : PRINT XX0;
620 LINE (200,0)-(200,150),,,6
625 IF I=250 THEN LOCATE 20,32-LEN(STR$(XX1))/2 : PRINT XX1;
630 LINE (250,0)-(250,150),,,6
635 IF I=300 THEN LOCATE 20,38-LEN(STR$(XX2))/2 : PRINT XX2;
640 IF I=350 THEN LOCATE 20,44-LEN(STR$(XX3))/2 : PRINT XX3;
645 LINE (350,0)-(350,150),,,6
650 IF I=450 THEN LOCATE 20,57-LEN(STR$(XMAX))/2 : PRINT XMAX;
655 NEXT I
660 FOR I=0 TO 150 STEP 15
665 LINE (150,I)-(160,I)
670 IF I=0 THEN LOCATE 1,19-LEN(STR$(YMAX)) : PRINT YMAX;
675 IF I=75 THEN LOCATE 10,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YY3;
680 IF I=150 THEN LOCATE 19,19-LEN(STR$(YMIN)) : PRINT YMIN;
685 NEXT I
690 FOR I=30 TO 120 STEP 30
695 IF I=30 THEN LINE (150,30)-(450,30),,,6
700 IF I=60 THEN LINE (150,60)-(450,60),,,6
705 IF I=90 THEN LINE (150,90)-(450,90),,,6
710 IF I=120 THEN LINE (150,120)-(450,120),,,6
715 NEXT I
720 '----- MARCO -----
725 LINE (150,0)-(450,150),1,B
730 '----- LEGENDAS -----
735 LOCATE 20,(68-LEN(A#)/2):PRINT A#
740 P=LEN(B#)
745 FOR I=1 TO P
750 LOCATE(10+I-P/2),13
755 V$=MID$(B#,I,1)
760 PRINT V$
765 NEXT I
770 '----- PONTOS EXPERIMENTAIS -----
775 K=7: ' Numero de pares de dados experimentais [ver linha 191]
780 FOR I=1 TO K
785 READ X1(I),Y1(I):
790 AA(I)=10*(X1(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN):DD(I)=10*(Y1(I)-YMIN)/(YMAX-YMIN)
795 CIRCLE(AA(I)*30+150,150-DD(I)*15),5,,,,.5
800 PSET(AA(I)*30+150,150-DD(I)*15)
805 PSET(AA(I)*30+151,150-DD(I)*15)
810 PSET(AA(I)*30+149,150-DD(I)*15)
815 PSET(AA(I)*30+150,151-DD(I)*15)
820 PSET(AA(I)*30+150,149-DD(I)*15)
825 NEXT I
830 '
835 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
840 FOR I=1 TO INT(XMAX-XMIN)-1

```

```

845 LINE (XX(I)*30+150,150-YY(I)*15)-(XX(I+1)*30+150,150-YY(I+1)*15),,,W
850 NEXT I
855 '
860 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
865 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
870 LOCATE 2,60:PRINT "Y=I-SICI*e-FICKI1"
875 LOCATE 4,60:PRINT "I= ";TE;" C"
880 LOCATE 5,60:PRINT "De =";DE
885 LOCATE 6,60:PRINT "raio=";R
890 LOCATE 7,60:PRINT "Biot=";BIOT
895 LOCATE 9,61:PRINT X(3);Y(3)
900 LOCATE 10,61:PRINT X(5);Y(5)
905 LOCATE 11,60:PRINT X(10);Y(10)
910 LOCATE 12,60:PRINT X(15);Y(15)
915 LOCATE 13,60:PRINT X(20);Y(20)
920 LOCATE 14,60:PRINT X(30);Y(30)
925 KEY OFF
2105 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
2110 KEY OFF
3000 LOCATE 21,1 :LIST 215

```

```

100 ' Programa NEMRAIO.BAS GW-Basic 4-10-89 E. Ortega
105 '-----
110 ' CALCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA POR AJUSTE DE DADOS:
111 '
115 ' O programa calcula o rendimento da extracao em funcao do tempo
120 ' para valores especificados de Biot, alfa e da difusividade efetiva
121 ' livre "De" ate um certo valor de tempo de lavagem (4 minutos)
125 ' depois disso calcula o rendimento empregando um outro valor
126 ' da difusividade efectiva impedida que denominamos "Df",
127 ' na extracao com agua, em batelada, de particulas de cana de acucar
130 ' de pequeno tamanho, consideradas esfericas
131 '
135 '-----
141 ' Dimensionamento das variaveis
145 NN=30
150 DIM X(NN),Y(NN),XX(NN),YY(NN),ZZ(NN)
155 DIM QN(NN+1),SN(NN),CN(NN),FICK(NN),U(NN+1),V(NN+1)
160 K=7
165 DIM X1(K),Y1(K),AA(K),OO(K)
170 '-----
175 CLS:KEY OFF
180 '-----
185 ' dados experimentais
186 '
190 GOSUB 3195:GOTO 235
195 GOSUB 3200:GOTO 235
200 GOSUB 3205:GOTO 235
205 GOSUB 3210:GOTO 235
210 GOSUB 3215:GOTO 235
220 '
235 '-----
236 ' Aviso na tela
237 LOCATE 23,1:PRINT "Calculos da primeira fase de extracao....aguarde!";
238 PRINT " R=";R;"T=";TE;" t<4 min."
240 '-----
260 '
265 ' Obtencao dos valores de qn
270 J=1
275 Q=1.16
280 'PRINT "Para Biot=";BIOT
285 'PRINT "n","qn"
290 F=(COS(Q)/SIN(Q))-((1-BIOT)/Q)
295 FL=-1/(SIN(Q)^2)-(1-BIOT)/(Q^2)
300 A=Q
305 Q=A-F/FL
310 B=ABS(Q-A)
315 C=B/Q:
320 IF C<=.0001 GOTO 330
325 GOTO 290
330 QN(J)=Q:
335 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
340 J=J+1
345 IF J>N GOTO 360
350 Q=Q+3.15

```

```

355 GOTO 290
358 '
360 'LPRINT"calculo do grau de extracao vs tempo"
365 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA;"Biot= ";BIOT
370 'LPRINT TAB(10) * t",TAB(20) * Fick",TAB(30) "Grau de extracao".
372 '-----
373 '          Calculo do rendimento nos distintos tempos
375 FOR T=1 TO 30 STEP 1
380 ST=0
385 FOR I=1 TO 30 STEP 1
390 FICK(I)=DE*(CN(I)^2)*60*(T)/(R^2)
395 CN(I)=6*(BIOT^2)/(CN(I)^2)*(CN(I)^2+(BIOT-1))
400 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
405 ST=ST+SN(I)
410 NEXT I
415 U(T)=1-ST
420 'PRINT TAB(10);T;
425 'PRINT TAB(20) USING "####.##";FICK(NO;
430 'PRINT TAB(30) USING "#.###";U(T)
435 NEXT T
440 '
445 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
465 '
470 'LPRINT CHR$(10):LPRINT CHR$(10)
475 '
485 '
490 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
495 '
500 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=.5: YMAX=1:L1=1
505 '----- EQUACAO -----
510 FOR I=1 TO 30:X(I)=I-L1:NEXT I
515 FOR I=1 TO 30:Y(I)=U(I):NEXT I
520 '----- ETIQUETAS -----
525 XX00=(XMIN+XMAX)/10:XX0=(XMIN+XMAX)/6
530 XX1=(XMIN+XMAX)/3:XX2=(XMIN+XMAX)/2: XX3=(XMIN+XMAX)/(3/2)
535 YY3=(YMIN+YMAX)/2
540 A$="TEMPO (MIN)"
545 B$="GRAU DE EXTRACAO"
550 '----- ESCALAS -----
555 FOR I=0 TO N
560 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
565 YY(I)=10*(Y(I))/(YMAX)
570 NEXT I
575 '----- TELA GRAFICA -----
580 SCREEN 2 : WIDTH 80
585 '----- VALORES E MARCAS -----
590 B=BMHAAA
595 FOR I=150 TO 450 STEP 10
600 LINE (I,145)-(I,150)
605 IF I=150 THEN LOCATE 20,19-LEN(STR$(XMIN))/2 : PRINT XMIN;
610 IF I=180 THEN LOCATE 20,23-LEN(STR$(XX00))/2 : PRINT XX00;
615 IF I=200 THEN LOCATE 20,26-LEN(STR$(XX0))/2 : PRINT XX0;
620 LINE (200,0)-(200,150),,6
625 IF I=250 THEN LOCATE 20,32-LEN(STR$(XX1))/2 : PRINT XX1;
630 LINE (250,0)-(250,150),,6

```

```

635 IF I=300 THEN LOCATE 20,38-LEN(STR$(XX2))/2 : PRINT XX2;
640 IF I=350 THEN LOCATE 20,44-LEN(STR$(XX3))/2 : PRINT XX3;
645 LINE (350,0)-(350,150),,,6
650 IF I=450 THEN LOCATE 20,57-LEN(STR$(XMAX))/2 : PRINT XMAX;
655 NEXT I
660 FOR I=0 TO 150 STEP 15
665 LINE (150,I)-(160,I)
670 IF I=0 THEN LOCATE 1,18-LEN(STR$(YMAX)) : PRINT YMAX;
671 IF I=30 THEN LOCATE 4,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.9
672 IF I=60 THEN LOCATE 8,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.8
677 IF I=90 THEN LOCATE 12,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.7
678 IF I=120 THEN LOCATE 16,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.6
680 IF I=150 THEN LOCATE 19,18-LEN(STR$(YMIN)) : PRINT YMIN;
685 NEXT
690 FOR I=30 TO 120 STEP 30
695 IF I=30 THEN LINE (150,30)-(450,30),,,6
700 IF I=60 THEN LINE (150,60)-(450,60),,,6
705 IF I=90 THEN LINE (150,90)-(450,90),,,6
710 IF I=120 THEN LINE (150,120)-(450,120),,,6
715 NEXT I
720 '----- MARCO -----
725 LINE (150,0)-(450,150),1,B
730 '----- LEGENDAS -----
735 LOCATE 20,(68-LEN(A$))/2:PRINT A$
740 P=LEN(B$)
745 FOR I=1 TO P
750 LOCATE(10+I-P/2),11
755 V$=MID$(B$,I,1)
760 PRINT V$
765 NEXT I
770 '----- PONTOS EXPERIMENTAIS -----
775 K=6: ' Numero de pares de dados experimentais [ver linha 191]
780 FOR I=1 TO K
785 READ X1(I),Y1(I):
790 AA(I)=10*(X1(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN):OO(I)=10*(Y1(I))/(YMAX)
795 CIRCLE(AA(I)*30+150,300-OO(I)*30),5,,,,.5
800 PSET(AA(I)*30+150,300-OO(I)*30)
805 PSET(AA(I)*30+151,300-OO(I)*30)
810 PSET(AA(I)*30+149,300-OO(I)*30)
815 PSET(AA(I)*30+150,301-OO(I)*30)
820 PSET(AA(I)*30+150,299-OO(I)*30)
825 NEXT I
830 '
835 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
840 FOR I=1 TO 3
845 LINE (XX(I)*30+150,300-YY(I)*30)-(XX(I+1)*30+150,300-YY(I+1)*30),,,W
850 NEXT I
855 '
860 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
865 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
866 LOCATE 2,60:PRINT "Y=1-SICI*e-FICKII"
867 LOCATE 4,60:PRINT "T =" :TE
868 LOCATE 5,60:PRINT "raio=" :R
870 LOCATE 6,60:PRINT "De =" :DE
875 LOCATE 7,60:PRINT "Df =" :DF

```

```

885 LOCATE 8,60:PRINT "Biot=";BIOT;"/";:PRINT USING "####";BIOT*DE/DF
890 LOCATE 9,60:PRINT "alfa=";ALFA
892 LOCATE 10,60:PRINT "k =" ;BIOT*DE/R
895 LOCATE 12,61:PRINT X(3);Y(3)
900 LOCATE 13,61:PRINT X(5);Y(5)
905 LOCATE 14,60:PRINT X(10);Y(10)
910 LOCATE 15,60:PRINT X(15);Y(15)
915 LOCATE 16,60:PRINT X(20);Y(20)
920 LOCATE 17,60:PRINT X(30);Y(30)
925 KEY OFF
930 LOCATE 23,1:PRINT "Calculos da segunda fase de extracao.....aguarde!";:
931 PRINT " R=";R;"T=";TE;" t>4 min."
935 '-----
935 '----- Obtencao dos valores de qn
966 J=1
967 Q=1.6
968 'LPRINT Para alfa=";ALFA
969 'LPRINT "n","qn"
970 F=TAN(Q)-3*Q/(3+ALFA*(Q^2))
971 FL=(1/COS(Q))^2+(3+ALFA*(Q^2)-9)/((3+ALFA*(Q^2))^2)
972 A=Q
973 Q=A-F/FL
974 B=ABS(Q-A)
975 C=B/Q
976 IF C<=9.999999E-05 GOTO 978
977 GOTO 970
978 QN(J)=Q
979 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
980 J=J+1
981 IF J>N GOTO 984
982 Q=Q+3.15
983 GOTO 970
984 'LPRINT"calculos do grau de extracao vs tempo"
985 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA
986 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
1000 '
1010 FOR T=4 TO 30 STEP 1
1020 ST=0
1030 FOR I=1 TO 30
1040 FICK(I)=DF*(QN(I)^2)*60*(T-5)/(R^2)
1050 CN(I)=6*ALFA*(1+ALFA)/(9+9*ALFA+(QN(I)*ALFA)^2)
1060 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
1070 ST=ST+SN(I):
1080 NEXT I
1090 V(T)=1+U(4)-ST:
1100 'LPRINT TAB(10);T;
1110 'LPRINT TAB(20) USING "####.##";FICK(N);
1120 'LPRINT TAB(30) USING "###.###";V(T)
1130 NEXT T
1140 '
1200 'LPRINT CHR$(10):LPRINT CHR$(10)
1210 BEEP
1240 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
1250 '
1260 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=.5: YMAX=1:LI=1

```

```

1270 '----- EQUACAO -----
1280 FOR I=5 TO 30:X(I)=I-1:L1:NEXT I
1290 FOR I=5 TO 30:Y(I)=V(I):NEXT I
1360 '----- ESCALAS -----
1370 FOR I=5 TO N
1380 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
1390 YY(I)=10*(Y(I))/(YMAX)
1400 NEXT I
1835 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
1840 FOR I=4 TO INT(XMAX-XMIN)-1
1845 LINE (XX(I)*30+150,300-YY(I)*30)-(XX(I+1)*30+150,300-YY(I+1)*30),,W
1850 NEXT I
1855 '
1980 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
1990 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
2000 LOCATE 2,60:PRINT "Y=1-SICI*a-FICKI1"
2010 LOCATE 4,60:PRINT "T=";TE
2020 LOCATE 5,60:PRINT "raio=";R
2025 LOCATE 6,60:PRINT "De=";DE
2030 LOCATE 7,60:PRINT "Df=";DF
2040 LOCATE 8,60:PRINT "BIOT=";BIOT;"/";PRINT USING "####",BIOT*DE/DF
2042 LOCATE 9,60:PRINT "alfa=";ALFA
2045 LOCATE 10,60:PRINT "k=";BIOT*DE/R
2050 LOCATE 12,61:PRINT X(3);Y(3)
2060 LOCATE 13,61:PRINT X(5);Y(5)
2070 LOCATE 14,60:PRINT X(10);Y(10)
2080 LOCATE 15,60:PRINT X(15);Y(15)
2090 LOCATE 16,60:PRINT X(20);Y(20)
2100 LOCATE 17,60:PRINT X(30);Y(30)
2105 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
2110 '-----
2115 ' Impressao do graficos restantes
3000 IF JJ=1 THEN 195
3005 IF JJ=2 THEN 200
3010 IF JJ=3 THEN 205
3015 IF JJ=4 THEN 210
3020 FOR X=1 TO 150:LINE (460,X)-(640,X),0:NEXT X:FOR X=160 TO 192:LINE (150,X)-(450,X),0:NEXT X:LOCATE 1,60:PRINT "T=";TE:PLAY"agc":W$:INPUT$(1):KEY ON:STOP
3180 '
3185 ' Entrada de dados iniciais:
3190 '-----
3195 BIOT=.301:ALFA=2.9:R=.0005:DE=1.51E-10:DF=4.1E-14:L5=.88: N=30: K=7: TE=23: W=LHAAAA: DATA
3..85,5,.89,10,.93,15,.94,20,.945,30,.95:JJ=1:RETURN
3200 BIOT=.297:ALFA=2.9:R=.000601:DE=1.71E-10:DF=5.2E-14:L5=.86:N=30: K=7: TE=23: W=LHAAAA: DATA
3..80,5,.86,10,.91,15,.92,20,.925,30,.93:JJ=2:RETURN
3205 BIOT=.297:ALFA=2.9:R=.0008: DE=1.99E-10:DF=1.2E-13:L5=.805:N=30: K=7: TE=23: W=LHAAAA: DATA
3..73,5,.81,10,.85,15,.86,20,.875,30,.885:JJ=3:RETURN
3210 BIOT=.295:ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.35E-10:DF=1.6E-13:L5=.77:N=30: K=7: TE=23: W=LHAAAA: DATA
3..7,5,.77,10,.825,15,.835,20,.845,30,.85:JJ=4:RETURN
3215 BIOT=.259:ALFA=2.9:R=.00125:DE=2.75E-10:DF=6E-13:L5=.69 :N=30: K=7: TE=23: W=LHAAAA: DATA
3..625,5,.69,10,.75,15,.77,20,.79,30,.80:JJ=5:RETURN

```

```

100 ' Programa NEWTEMP.BAS GW-Basic 28-9-89 E. Ortega
105 '-----
110 ' CALCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA POR AJUSTE DE DADOS:
111 '
115 ' O programa calcula o rendimento da extracao em funcao do tempo
120 ' para valores especificados de Biot, alfa e da difusividade efetiva
121 ' livre "De" ate um certo valor de tempo de lavagem (4 minutos)
125 ' depois disso calcula o rendimento empregando um outro valor
126 ' da difusividade efectiva impedida que denominamos "Df",
127 ' na extracao com agua, em batelada, de particulas de cana de acucar
130 ' de pequeno tamanho, consideradas esfericas
131 '
135 '-----
141 ' Dimensionamento das variaveis
145 NN=30
150 DIM X(NN),Y(NN),XX(NN),YY(NN),ZZ(NN)
155 DIM QN(NN+1),SN(NN),CN(NN),FICK(NN),U(NN+1),V(NN+1)
160 K=7
165 DIM X1(K),Y1(K),AA(K),OO(K)
170 '-----
175 CLS:KEY OFF
180 '-----
185 ' dados experimentais
186 '
190 GOSUB 3225:GOTO 235
195 GOSUB 3230:GOTO 235
200 GOSUB 3235:GOTO 235
205 GOSUB 3240:GOTO 235
210 GOSUB 3245:GOTO 235
215 GOSUB 3250:GOTO 235
216 GOSUB 3255:GOTO 235
220 '
235 '-----
236 ' Aviso na tela
237 LOCATE 23,1:PRINT "Calculos da primeira fase de extracao....aguarde!":
238 PRINT " R=";R;"T=";TE;" t<4 min."
240 '-----
260 '
265 ' Obtencao dos valores de qn
270 J=1
275 Q=1.16
280 'PRINT "Para Biot=";BIOT
285 'PRINT "n", "qn"
290 F=(COS(Q)/SIN(Q))-((1-BIOT)/Q)
295 FL=-1/(SIN(Q)^2)-(1-BIOT)/(Q^2)
300 A=Q
305 Q=A-F/FL
310 B=ABS(Q-A)
315 C=B/Q:
320 IF C<=.0001 GOTO 330
325 GOTO 290
330 QN(J)=Q:
335 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
340 J=J+1

```



```

345 IF J>N GOTO 360
350 Q=Q+3.15
355 GOTO 290
358 '
360 'LPRINT"calculo do grau de extracao vs tempo"
365 'LPRINT "Para De= ";DE;"R= ";R;"alfa= ";ALFA;"Biot= ";BIOT
370 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
372 '-----
373 '          Calculo do rendimento nos distintos tempos
375 FOR T=1 TO 30 STEP 1
380 ST=0
385 FOR I=1 TO 30 STEP 1
390 FICK(I)=DE*(QN(I)^2)*60*(T)/(R^2)
395 CN(I)=6*(BIOT^2)/(QN(I)^2)*(QN(I)^2*(BIOT-1))
400 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
405 ST=ST+SN(I)
410 NEXT I
415 U(T)=1-ST
420 'PRINT TAB(10);T;
425 'PRINT TAB(20) USING "###.##";FICK(N);
430 'PRINT TAB(30) USING "%.###";U(T)
435 NEXT T
440 '
445 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
465 '
470 'LPRINT CHR$(10):LPRINT CHR$(10)
475 '
485 '
490 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----
495 '
500 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=.5: YMAX=1:L1=1
505 '----- EQUACAO -----
510 FOR I=1 TO 30:X(I)=I+L1:NEXT I
515 FOR I=1 TO 30:Y(I)=U(I):NEXT I
520 '----- ETIQUETAS -----
525 XX00=(XMIN+XMAX)/10:XX0=(XMIN+XMAX)/6
530 XX1=(XMIN+XMAX)/3:XX2=(XMIN+XMAX)/2: XX3=(XMIN+XMAX)/(3/2)
535 YY3=(YMIN+YMAX)/2
540 A$="TEMPO (MIN)"
545 B$="GRAU DE EXTRACAO"
550 '----- ESCALAS -----
555 FOR I=0 TO N
560 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
565 YY(I)=10*(Y(I))/(YMAX)
570 NEXT I
575 '----- TELA GRAFICA -----
580 SCREEN 2 : WIDTH 80
585 '----- VALORES E MARCAS -----
590 G=LN(AAAA)
595 FOR I=150 TO 450 STEP 10
600 LINE (I,145)-(I,150)
605 IF I=150 THEN LOCATE 20,19-LEN(STR$(YMIN))/2 : PRINT YMIN;
610 IF I=180 THEN LOCATE 20,23-LEN(STR$(XX00))/2 : PRINT XX00;
615 IF I=200 THEN LOCATE 20,26-LEN(STR$(XX0))/2 : PRINT XX0;
620 LINE (200,0)-(200,150),,,G

```

```

625 IF I=250 THEN LOCATE 20,32-LEN(STR$(XX1))/2 : PRINT XX1;
630 LINE (250,0)-(250,150),,,6
635 IF I=300 THEN LOCATE 20,38-LEN(STR$(XX2))/2 : PRINT XX2;
640 IF I=350 THEN LOCATE 20,44-LEN(STR$(XX3))/2 : PRINT XX3;
645 LINE (350,0)-(350,150),,,6
650 IF I=450 THEN LOCATE 20,57-LEN(STR$(XMAX))/2 : PRINT XMAX;
655 NEXT I
660 FOR I=0 TO 150 STEP 15
665 LINE (150,I)-(160,I)
670 IF I=0 THEN LOCATE 1,18-LEN(STR$(YMAX)) : PRINT YMAX;
671 IF I=30 THEN LOCATE 4,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.9
672 IF I=60 THEN LOCATE 8,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.8
677 IF I=90 THEN LOCATE 12,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.7
678 IF I=120 THEN LOCATE 16,19-LEN(STR$(YY3)) : PRINT YMAX*.6
680 IF I=150 THEN LOCATE 19,18-LEN(STR$(YMIN)) : PRINT YMIN;
685 NEXT
690 FOR I=30 TO 120 STEP 30
695 IF I=30 THEN LINE (150,30)-(450,30),,,6
700 IF I=60 THEN LINE (150,60)-(450,60),,,6
705 IF I=90 THEN LINE (150,90)-(450,90),,,6
710 IF I=120 THEN LINE (150,120)-(450,120),,,6
715 NEXT I
720 '----- MARCO -----
725 LINE (150,0)-(450,150),1,B
730 '----- LEGENDAS -----
735 LOCATE 20,(68-LEN(A#))/2:PRINT A#
740 P=LEN(B#)
745 FOR I=1 TO P
750 LOCATE (10+I-P/2),11
755 V$=MID$(B$,I,1)
760 PRINT V$
765 NEXT I
770 '----- PONTOS EXPERIMENTAIS -----
775 K=6: ' Numero de pares de dados experimentais (ver linha 191)
780 FOR I=1 TO K
785 READ X1(I),Y1(I):
790 AA(I)=10*(X1(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN):OO(I)=10*(Y1(I))/(YMAX)
795 CIRCLE(AA(I)*30+150,300-OO(I)*30),5,,,,5
800 PSET(AA(I)*30+150,300-OO(I)*30)
805 PSET(AA(I)*30+151,300-OO(I)*30)
810 PSET(AA(I)*30+149,300-OO(I)*30)
815 PSET(AA(I)*30+150,301-OO(I)*30)
820 PSET(AA(I)*30+150,299-OO(I)*30)
825 NEXT I
830 '
835 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
840 FOR I=1 TO 3
845 LINE (XX(I)*30+150,300-YY(I)*30)-(XX(I+1)*30+150,300-YY(I+1)*30),,,W
850 NEXT I
855 '
860 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
865 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
866 LOCATE 2,60:PRINT "Y=1-SICI*e-FICK11"
867 LOCATE 4,60:PRINT "T=";TE
868 LOCATE 5,60:PRINT "raio=";R

```

```

870 LOCATE 6,60:PRINT "De=";DE
875 LOCATE 7,60:PRINT "Df=";DF
885 LOCATE 8,60:PRINT "Biot=";BIOT;"/";:PRINT USING "####";BIOT*DE/DF
890 LOCATE 9,60:PRINT "alfa=";ALFA
892 LOCATE 10,60:PRINT "k=";BIOT*DE/R
895 LOCATE 12,61:PRINT X(3);Y(3)
900 LOCATE 13,61:PRINT X(5);Y(5)
905 LOCATE 14,60:PRINT X(10);Y(10)
910 LOCATE 15,60:PRINT X(15);Y(15)
915 LOCATE 16,60:PRINT X(20);Y(20)
920 LOCATE 17,60:PRINT X(30);Y(30)
925 KEY OFF
930 LOCATE 23,1:PRINT "Calculos da segunda fase de extracao.....aguarde!";:
931 PRINT " R=";R;"T=";TE;" t>4 min."
935 '-----
965 ' Obtencao dos valores de qn
966 J=1
967 Q=1.6
968 'LPRINT Para alfa=";ALFA
969 'LPRINT "n","qn"
970 F=TAN(Q)-3*Q/(3+ALFA*(Q^2))
971 FL=(1/COS(Q))^2+(3+ALFA*(Q^2)-9)/((3+ALFA*(Q^2))^2)
972 A=Q
973 Q=A-F/FL
974 B=ABS(Q-A)
975 C=B/Q
976 IF C<=9.999999E-05 GOTO 978
977 GOTO 970
978 QN(J)=Q
979 'PRINT J,QN(J):' impressao opcional dos valores de qn
980 J=J+1
981 IF J>N GOTO 984
982 Q=Q+3.15
983 GOTO 970
984 'LPRINT"calculos do grau de extracao vs tempo"
985 'LPRINT "Para De=";DE;"R=";R;"alfa=";ALFA
986 'LPRINT TAB(10) " t",TAB(20) " Fick",TAB(30) "Grau de extracao"
1000 '
1010 FOR T=4 TO 30 STEP 1
1020 ST=0
1030 FOR I=1 TO 30
1040 FICK(I)=DF*(QN(I)^2)*60*(T-5)/(R^2)
1050 CN(I)=6*ALFA*(1+ALFA)/(9+9*ALFA*(QN(I)*ALFA)^2)
1060 SN(I)=CN(I)*EXP(-FICK(I))
1070 ST=ST+SN(I):
1080 NEXT I
1090 V(T)=1+U(4)-ST:
1100 'LPRINT TAB(10);T:
1110 'LPRINT TAB(20) USING "####.##";FICK(N):
1120 'LPRINT TAB(30) USING "%.###";V(T)
1130 NEXT T
1140 '
1200 'LPRINT CHR$(10);LPRINT CHR$(10)
1210 BEEP
1240 '----- VALORES DOS PARAMETROS -----

```

```

1250 '
1260 XMIN=0: XMAX=30: YMIN=.5: YMAX=1:L1=1
1270 '----- EQUACAO -----
1280 FOR I=5 TO 30:X(I)=I-1+L1:NEXT I
1290 FOR I=5 TO 30:Y(I)=V(I):NEXT I
1360 '----- ESCALAS -----
1370 FOR I=5 TO N
1380 XX(I)=10*(X(I)-XMIN)/(XMAX-XMIN)
1390 YY(I)=10*(Y(I))/(YMAX)
1400 NEXT I
1835 '----- TRAZADO DA FUNCAO -----
1840 FOR I=4 TO INT(XMAX-XMIN)-1
1845 LINE (XX(I)*30+150,300-YY(I)*30)-(XX(I+1)*30+150,300-YY(I+1)*30),,W
1850 NEXT I
1855 '
1980 '----- EQUACAO E VALORES DE AJUSTE -----
1990 LOCATE 1,60:PRINT "Equacao:"
2000 LOCATE 2,60:PRINT "Y=1-SICI*E-FICKI*"
2010 LOCATE 4,60:PRINT "T =" ;TE
2020 LOCATE 5,60:PRINT "raio=" ;R
2025 LOCATE 6,60:PRINT "De =" ;DE
2030 LOCATE 7,60:PRINT "Df =" ;DF
2040 LOCATE 8,60:PRINT "BIOT=" ;BIOT ;"/" ;:PRINT USING "###";BIOT*DE/DF
2042 LOCATE 9,60:PRINT "alfa=" ;ALFA
2045 LOCATE 10,60:PRINT "k =" ;BIOT*DE/R
2050 LOCATE 12,61:PRINT X(3);Y(3)
2060 LOCATE 13,61:PRINT X(5);Y(5)
2070 LOCATE 14,60:PRINT X(10);Y(10)
2080 LOCATE 15,60:PRINT X(15);Y(15)
2090 LOCATE 16,60:PRINT X(20);Y(20)
2100 LOCATE 17,60:PRINT X(30);Y(30)
2105 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
2110 '-----
2115 ' Impressao do graficos restantes
3000 IF JJ=1 THEN 195
3005 IF JJ=2 THEN 200
3010 IF JJ=3 THEN 205
3015 IF JJ=4 THEN 210
3016 IF JJ=5 THEN 215
3017 IF JJ=6 THEN 216
3020 IF JJ=7 THEN BEEP
3022 LOCATE 24,1:PRINT TAB(79)" "
3023 LOCATE 23,1:PRINT TAB(79)" "
3024 LOCATE 22,1:PRINT TAB(79)" "
3025 LOCATE 21,1:PRINT TAB(79)" "
3030 FOR X=1 TO 150:LINE (460,X)-(640,X),0:NEXT X:FOR X=160 TO 192:LINE (150,X)-(450,X),0:NEXT
X:LOCATE 1,60:PRINT "r=" ;R:PLAY"agc":W$=INPUT$(1):KEY ON:STOP
3180 '
3182 '-----
3185 ' Entrada de dados iniciais:
3190 '-----
3225 BIOT=.295:ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.41E-10:DF=1.61E-13:L5=.77:TE=23:N=30:K=6: W=QHAAAA: DATA
3..70,5..77,10..825,15..835,20..845,30..85:JJ=1:RETURN
3230 BIOT=.296:ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.65E-10:DF=1.61E-13:L5=.81:TE=30:N=30:K=6: W=QHAAAA: DATA
3..79,5..81,10..84,15..86,20..87,30..87:JJ=2:RETURN

```

3235 BIOT=.296:ALFA=2.9:R=.00095:DE=2.81E-10:DF=1.95E-13:L5=.82:TE=40:N=30:K=6: W=2HAAAA: DATA
 3,.86,5,.82,10,.85,15,.87,20,.880,30,.890:JJ=3:RETURN
 3240 BIOT=.297:ALFA=2.9:R=.00095:DE=3.71E-10:DF=1.35E-13:L5=.86:TE=50:N=30:K=6: W=2HAAAA: DATA
 3,.84,5,.87,10,.885,15,.890,20,.910,30,.920:JJ=4:RETURN
 3245 BIOT=.298:ALFA=2.9:R=.00095:DE=6.31E-10:DF=1.01E-13:L5=.91:TE=60:N=30:K=6: W=2HAAAA: DATA
 3,.900,5,.93,10,.94,15,.95,20,.96,30,.965:JJ=5:RETURN
 3250 BIOT=.298:ALFA=2.9:R=.00095:DE=4.41E-10:DF=1.81E-13:L5=.87:TE=70:N=30:K=6: W=2HAAAA: DATA
 3,.84,5,.87,10,.920,15,.920,20,.950,30,.950:JJ=6:RETURN
 3255 BIOT=.299:ALFA=2.9:R=.00095:DE=5.15E-10:DF=2.11E-13:L5=.88:TE=80:N=30:K=6: W=2HAAAA: DATA
 3,.87,5,.91,10,.920,15,.950,20,.960,30,.965:JJ=7:RETURN

```
10 'Programa SHOWTELA.BAS
20 '-----
30 CLS:SCREEN 2
40 KEY OFF
50 INPUT "Digite o nome do arquivo";D$
60 BLOAD D$+CHR$(13)
70 W$=INPUT$(1)
80 KEY ON:SCREEN 0:STOP
```

Apendice 8.2.1. Listagem do programa em BASIC de simulacao da
Extracao solido-liquido de acucar de cana.

```

10 'Nome do programa: DIFUSOR.BAS
20 SCREEN 0:WIDTH 80
30 MAXFILES=1
40 KEY OFF
50 CLS
60 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:
70 PRINT*      Programa para calculo grafico-numerico de*
80 PRINT*      um extrator solido-liquido de acucar de cana.*
90 PRINT
100 PRINT
110 PRINT
120 PRINT
130 PRINT*      Professor Enrique Ortega Rodriguez*
140 PRINT*      -----*
150 PRINT
160 PRINT
170 PRINT
180 PRINT
190 PRINT*      Departamento de Engenharia de Alimentos*
200 PRINT*      F.E.A. - UNICAMP*
210 PRINT*      Campinas, junho de 1988.*
220 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";:A$=INPUT$(1)
230 CLS
240 LOCATE 2,10:PRINT*      INTRODUCAD DOS DADOS NECESSARIOS:*
250 LOCATE 5,10:PRINT*      Composicao da materia-prima: cana (C)*
260 LOCATE 7,10:PRINT* Brix da cana = BC      16 < BC < 26      BC medio = 20*
270 LOCATE 8,10:PRINT* Unidade da cana (X) = UC  65 < UC < 70      UC medio = 67*
280 LOCATE 11,10:PRINT* FORNECA OS VALORES: BC =*:LOCATE 13,31:PRINT"UC ="
290 LOCATE 14,10:PRINT*      ... e tecle <Enter>*"
300 LOCATE 11,36:INPUT**,BC
310 IF BC<16 OR BC>26 THEN BEEP:GOTO 300
320 LOCATE 13,36:INPUT**,UC
330 IF UC<65 OR UC>70 THEN BEEP:GOTO 320
340 LOCATE 14,1:PRINT SPC(79)
350 LOCATE 17,10:PRINT* Calculos:*
360 XF=UC*BC/(100*(100-BC))
370 YF=UC/100
380 ZF=1-XF-YF
390 LOCATE 18,10:PRINT*      Xs,c = UC*BC / 100*(100-BC) = ";USING"###.###";XF
400 LOCATE 20,10:PRINT*      Xa,c = UC / 100 = ";USING"###.###";YF
410 LOCATE 22,10:PRINT*      Xf,c = 1 - Xs,c - Xa,c = ";USING"###.###";ZF
420 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";:A$=INPUT$(1)
430 CLS
440 LOCATE 2,10:PRINT*      COMPOSICAO DO EXTRATO FINAL (E)*
450 LOCATE 5,10:PRINT*      Equacao:
460 LOCATE 6,10:PRINT*      Ys,e = BE / 100*
470 LOCATE 8,10:PRINT*      Ya,e = 1 - Ys,e*
480 LOCATE 10,10:PRINT*      onde BE = Brix do extrato final*
490 LOCATE 13,10:PRINT*      A pratica sugere: BE = 0.5*BC + 5*
500 BE=.5*BC+5
510 LOCATE 15,10:PRINT*      Valor recomendado: BE = ";USING"###.##";BE

```

```

520 LOCATE 18,10:PRINT"Tecla <Enter> para confirmar ou um novo valor + <Enter>"
530 LOCATE 20,10:PRINT"    BE escolhido = ";:INPUT" ",BE2
540 IF BE2<>0 THEN BE=BE2
550 LOCATE 20,30:PRINT USING"###.##";BE
560 XE=BE/100
570 YE=1-XE
580 LOCATE 6,40:PRINT" = ";:COLOR 0,6:PRINT USING"#####";XE:COLOR 7,0
590 LOCATE 8,40:PRINT" = ";:COLOR 0,6:PRINT USING"#####";YE:COLOR 7,0
600 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...";:A$=INPUT$(1)
610 CLS
620 LOCATE 10,10:PRINT"    COMPOSICAO DO SOLVENTE (A):"
630 XA=0:YA=1:ZA=0
640 LOCATE 12,10:PRINT"    Ya,A=";YA;" (agua pura)"
650 LOCATE 14,10:PRINT"    Ys,A=";XA;" (sem soluto)"
660 LOCATE 16,10:PRINT"    Yf,A=";ZA;" (nem fibra)"
670 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...";:A$=INPUT$(1)
680 CLS
690 LOCATE 1,10:PRINT"COMPOSICAO DO RESIDUO FINAL (megaco): Xi,m = f(Xf,H)"
700 LOCATE 3,10:PRINT"Yf,m = curva de equilibrio = f(M/C) = f(dp,T,t)"
710 LOCATE 5,10:PRINT"    H = grau de extracao efetivo= F*(B)/(B*)= f(dp,T,t)"
720 LOCATE 7,10:PRINT"    M/C = relacao massica megaco/cana"
730 LOCATE 9,10:PRINT"    dp = diametro medio de particula (mm)"
740 LOCATE 11,10:PRINT"    T = temperatura (graus Celsius)"
750 LOCATE 13,10:PRINT"    t = tempo de contato (minutos)"
760 LOCATE 15,10:PRINT"    (B/B*) = grau de extracao, em batelada"
770 LOCATE 17,10:PRINT"    F = fator de ajuste, difusor de planta-piloto"
780 LOCATE 19,10:PRINT"Tempo recomendado para uma boa extracao: ";:COLOR 0,6;
782 PRINT"t = 22 minutos":COLOR 7,0
790 LOCATE 21,10:PRINT"Portanto, para determinarmos a composicao do megaco"
800 LOCATE 22,10:PRINT"precisamos apenas dos valores de";:COLOR 0,6;
802 PRINT" dp ";:COLOR 7,0:PRINT" e ";:COLOR 0,6:PRINT" T ";:COLOR 7,0
810 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...";:A$=INPUT$(1)
820 CLS
830 LOCATE 2,10:PRINT"Escolha os valores de dp e T teclando"
840 LOCATE 4,10:PRINT" a letra correspondente + <Enter>"
850 LOCATE 7,1:PRINT"
860 LOCATE 8,1:PRINT"          I          Dp
870 LOCATE 9,1:PRINT"-----I-----"
880 LOCATE 10,1:PRINT"          T (Celsius)  I 1.2 mm (media) I 1.0 mm (fina)
890 LOCATE 11,1:PRINT"-----I-----I-----"
900 LOCATE 12,1:PRINT" 23 - 25 (ambiente)  I      A      I      B
910 LOCATE 13,1:PRINT"-----I-----I-----"
920 LOCATE 14,1:PRINT" 30 (leve aquecimento) I      C      I      D
930 LOCATE 15,1:PRINT"-----I-----I-----"
940 LOCATE 16,1:PRINT" 50 (temperatura otima I      E      I      F
950 LOCATE 17,1:PRINT"-----I-----I-----"
960 LOCATE 19,10:PRINT"Opcao + <Enter>:"
970 LOCATE 19,27:INPUT" ",D$
980 PP=0:FOR P=65 TO 70
990     IF D$=CHR$(P) OR D$=CHR$(P+32) THEN PP=1
1000 NEXT P
1010 IF PP<>1 THEN BEEP:GOTO 970
1020
1030 IF D$="a" OR D$="A" THEN F=.916:H=F*.962:RM=2.12:DP=1.2:TE=25
1040 IF D$="b" OR D$="B" THEN F=.917:H=F*.956:RM=1.92:DP=1.1:TE=25

```



```

1050 IF Q$="c" OR Q$="C" THEN F=.918:H=F*.952:RM=2.06:DP=1.2:TE=30
1060 IF Q$="d" OR Q$="D" THEN F=.92:H=F*.95:RM=1.89:DP=1.1:TE=30
1070 IF Q$="e" OR Q$="E" THEN F=.929:H=F*.959:RM=1.85:DP=1.2:TE=50
1080 IF Q$="f" OR Q$="F" THEN F=.932:H=F*.963:RM=1.73:DP=1.1:TE=50
1090 'OBSERVACAO: F e um fator de ajuste que precisa ser determinado
1092 ' experimentalmente para cada extrator e cada conjunto de parametros
1100 LOCATE 19,10:PRINT"Grau de extracao (centesimal): H = ";USING"###.###";H
1110 LOCATE 20,10:PRINT"Tecla <Enter> para confirmar ou novo valor + <Enter>:";
1120 INPUT "",H2:IF H2<>0 THEN H=H2:LOCATE 19,45:COLOR 0,6
1122 PRINT USING"###.###";H:COLOR 7,0
1130 LOCATE 20,1:PRINT SPC(79)
1140 LOCATE 21,10:PRINT"Relacao megaco/cana (Kg/Kg): M/C = ";USING"###.###";RM
1150 LOCATE 22,10:PRINT"Tecla <Enter> para confirmar ou novo valor + <Enter>:";
1160 INPUT "",RM2:IF RM2<>0 THEN RM=RM2:LOCATE 21,45:COLOR 0,6
1162 PRINT USING"###.###";RM:COLOR 7,0
1170 LOCATE 22,1:PRINT SPC(79)
1180 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...";:A$=INPUT$(1)
1190 CLS
1200 LOCATE 2,10:PRINT"Calculo da composicao do residuo final (megaco)"
1210 ZR=IF/RM
1220 XR=((1-H)*XF)/RM
1230 YR=1-ZR-XR
1240 Q=1-ZR
1250 LOCATE 5,10:PRINT"Xf,m = Xf,c / (M/C) = ";USING"###.###";ZR
1260 LOCATE 7,10:PRINT"Xs,m = (1-H) * Xs,c / (M/C) = ";USING"###.###";XR
1270 LOCATE 9,10:PRINT"Xa,m = 1 - Xf,m - Xs,m = ";USING"###.###";YR
1280 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...";:A$=INPUT$(1)
1290 CLS
1300 LOCATE 2,10:PRINT"Calculo das coordenadas do ponto focal M"
1310 LOCATE 3,10:PRINT"(referencia das linhas virtuais de mistura)"
1320 PI=(YE-YF)/(XE-XF):LOCATE 5,10:PRINT"PI =";USING"###.###";PI
1330 OI=((XE*YF)-(XF*YE))/(XE-XF):LOCATE 7,10:PRINT"OI =";USING"###.###";OI
1340 LOCATE 9,10
1342 PRINT"Y = (";USING"###.###";PI;:PRINT")X + (";USING"###.###";OI;:PRINT")"
1350 PF=(YA-YR)/(XA-XR):LOCATE 11,10:PRINT"PF =";USING"###.###";PF
1360 OF=((XA*YR)-(XR*YA))/(XA-XR):LOCATE 13,10:PRINT"OF =";USING"###.###";OF
1370 LOCATE 15,10
1372 PRINT"Y = (";USING"###.###";PF;:PRINT")X + (";USING"###.###";OF;:PRINT")"
1380 LOCATE 18,10:PRINT"Coordenadas do ponto focal M:"
1390 XM=(OF-OI)/(PI-PF):LOCATE 20,10:PRINT"XM =";USING"###.###";XM
1400 YM=((PI*OF)-(PF*OI))/(PI-PF):LOCATE 22,10:PRINT"YM =";USING"###.###";YM
1410 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...";:A$=INPUT$(1)
1420 CLS
1430 LOCATE 2,10:PRINT"Calculo do numero de estagios:"
1440 DIM V(20),W(20),D(20),X(20),Y(20),Z(20),M(20),B(20),K(20),L(20)
1442 DIM XX(20),YY(20),VV(20),WW(20)
1450 N=1
1460 V(N)=XE
1470 W(N)=YE
1480 LOCATE 4,10:PRINT"Estagio Numero ";N
1490 LOCATE 6,10:PRINT"V(";N;") =";USING"###.###";V(N)
1500 LOCATE 8,10:PRINT"W(";N;") =";USING"###.###";W(N)
1510 D(N)=W(N)/V(N):LOCATE 10,10:PRINT"D(";N;") =";USING"###.###";D(N)
1520 X(N)=D/(1+D(N)):LOCATE 12,10:PRINT"X(";N;") =";USING"###.###";X(N)
1530 Y(N)=D(N)*X(N):LOCATE 14,10:PRINT"Y(";N;") =";USING"###.###";Y(N)

```

```

1540 Z(N)=1-X(N)-Y(N):LOCATE 16,10:PRINT"Z("N;" ) =";USING"###.###";Z(N)
1550 IF X(N)<=XR THEN BEEP:LOCATE 24,1
1552 PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";A$=INPUT$(1):GOTO 1670
1560 M(N)=(Y(N)-YM)/(X(N)-XM):LOCATE 18,10
1562 PRINT"M("N;" ) =";USING"###.###";M(N)
1570 B(N)=((X(N)*YM)-(XM*Y(N)))/(X(N)-XM):LOCATE 20,10
1572 PRINT"B("N;" ) =";USING"###.###";B(N)
1580 LOCATE 22,10
1582 PRINT"Y = (";USING"###.##";M(N);:PRINT") X + (";USING"###.##";B(N);:PRINT")"
1590 T=(1-B(N))/(M(N)+1)
1600 C=(M(N)+B(N))/(M(N)+1)
1610 N=N+1:V(N)=T:W(N)=C
1620 IF N>20 THEN CLS:BEEP:LOCATE 12,1
1622 PRINT"Desculpe, impossivel calcular extrator com mais de 20 estagios"
1624 PRINT:PRINT"Tecle algo para REINICIAR o programa":A$=INPUT$(1):RUN
1630 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";A$=INPUT$(1)
1640 CLS
1650 GOTO 1480
1660 'CONSTRUCAO DO GRAFICO
1670 CLS:SCREEN 2:WIDTH 80
1680 'DIAGRAMA TRIANGULAR DE EXTRACAO
1690 LINE(100,10)-(100,160):LINE-(400,160)
1700 LINE(100,10)-(400,160)
1710 FOR CZ=30 TO 150 STEP 30
1720 LINE(100,CZ+10)-(108,CZ+10)
1730 LINE((CZ+50)*2,160)-((CZ+50)*2,156)
1740 NEXT CZ
1750 OPEN "SCRN:" FOR OUTPUT AS #1
1760 LOCATE 22,13:PRINT#1,"0          Xs,m e Ys,e          0.5"
1770 LOCATE 2,9:PRINT#1,"1"
1780 LOCATE 8,6:PRINT#1,"Ya,e"
1790 LOCATE 14,6:PRINT#1,"Ia,m"
1800 LOCATE 20,8:PRINT#1,".5"
1810 'LINHA DOS SOLIDOS ESCORRIDOS
1820 QQ=INT(B*300)
1830 LINE(100,310-QQ)-((QQ-100)*2,160)
1840 'PONTOS DAS ENTRADAS E SAIDAS
1850 'SOLVENTE PURO(A)
1860 PSET(100,10):CIRCLE(100,10),6
1870 'EXTRATO(E)
1880 EX=INT(XE*300):EY=(YE*300)
1890 PSET((50+EX)*2,310-EY):CIRCLE((50+EX)*2,310-EY),6
1900 'PONTO DA MATERIA PRIMA (F)
1910 FX=INT(XF*300):FY=(YF*300)
1920 PSET((50+FX)*2,310-FY):CIRCLE((50+FX)*2,310-FY),6
1930 'PONTO DO RESIDUO SOLIDO (R)
1940 RX=INT(XR*300):RY=INT(YR*300)
1950 PSET((50+RX)*2,310-RY):CIRCLE((50+RX)*2,310-RY),6
1960 'ADAPTACAO DAS MAGNITUDES
1970 FOR G=1 TO N
1980 VV(G)=INT(V(G)*300):WW(G)=INT(W(G)*300)
1990 XX(G)=INT(X(G)*300):YY(G)=INT(Y(G)*300)
2000 NEXT G
2010 NX=INT(XN*300):NY=INT(YN*300)
2020 'TRACEJADO DOS ESTAGIOS

```

```

2030 LINE((50+FX)*2,310-FY)-((50+EX)*2,310-EY)
2040 FOR K=1 TO N-1
2050 LINE((VV(K)+50)*2,310-WW(K))-((XX(K)+50)*2,310-YY(K))
2060 LINE((XX(K)+50)*2,310-YY(K))-((VV(K+1)+50)*2,310-WW(K+1))
2070 NEXT K
2080 LINE((VV(K)+50)*2,310-WW(K))-((XX(K)+50)*2,310-YY(K))
2090 LOCATE 1,44:PRINT #1,"NUMERO DE ESTAGIOS NECESSARIOS:";N
2100 LOCATE 3,44:PRINT #1,"ESTAGIO LIQUIDO SOLIDO"
2110 LOCATE 4,44:PRINT #1,"numero Ys,E Ya,E Xs,M Xa,M"
2120 FOR J=1 TO N
2130 LOCATE J+4,45;;
2132 PRINT #1,"";USING"###";J;:PRINT #1,"";USING"###";V(J),W(J),X(J),Y(J)
2140 NEXT J
2150 LOCATE 16,16:PRINT #1,"X(M = ";USING"###";Z(N)
2160 LOCATE 17,16:PRINT #1," Q = ";USING"###";Q
2170 LOCATE 18,16:PRINT #1," H = ";USING"###";H
2180 LOCATE 19,16:PRINT #1," Xs,M < ";USING"###";XR
2190 LOCATE 1,27:PRINT #1," BC = ";USING"###";BC
2200 LOCATE 2,27:PRINT #1," UC = ";USING"###";UC
2210 LOCATE 3,27:PRINT #1," BE = ";USING"###";BE
2220 LOCATE 4,27:PRINT #1," M/C = ";USING"###";RM
2230 LOCATE 6,30:PRINT #1," t = 22 min."
2240 LOCATE 7,30:PRINT #1," dp = ";USING"###";DP;:PRINT #1," mm"
2250 LOCATE 8,30:PRINT #1," T = ";TE;:PRINT #1," C"
2260 'CALCULO DAS RELACOES MASSICAS:
2270 'Linha Cana-Solvente
2280 ME=(YF-YA)/(XF-XA)
2290 BE=YA-ME*XA
2300 'Linha Megaco-Extrato
2310 MS=(YE-YR)/(XE-XR)
2320 BS=YR-MS*XR
2330 'Ponto de cruzamento das correntes
2340 XK=(BE-BS)/(MS-ME)
2350 YK=ME*XK+BE
2360 'Segmento correspondente 'a massa da cana
2370 AK=((XK-XA)^2+(YA-YK)^2)^.5
2380 'Segmento correspondente 'a massa de agua
2390 CK=((YK-YF)^2+(XF-XK)^2)^.5
2400 'Segmento correspondente 'a massa de extrato
2410 RK=((YR-YK)^2+(XK-XR)^2)^.5
2420 'Segmento correspondente 'a massa de megaco
2430 EK=((YK-YE)^2+(XE-XK)^2)^.5
2440 'Relacao agua-cana
2450 C=1
2460 A=(CK/AK)*C
2470 'Relacao megaco-extrato
2480 RE=EK/RK
2490 'Calculo do extrato
2500 E=(C+A)/(1+RE)
2510 'Calculo do megaco
2520 M=RE*E
2530 'Calculo da eficiencia real
2540 NR=1-((X(N)*M)/(XF*C))
2550 'Impressao dos resultados
2560 LOCATE 24,5;;

```

```
2562 PRINT #1,"C=";USING"###";C;PRINT #1," A=";USING"###";A;  
2564 PRINT #1," E=";USING"###";E;PRINT #1," M=";USING"###";M;  
2570 LOCATE 18,27:PRINT #1,"H' = ";USING"###";HR  
2580 V$=INPUT$(1):'uma tecla para continuar  
2590 CLOSE
```

APENDICE B.3.2.

```

10 'Nome do programa: DIFUREAL.BAS
20 SCREEN 0:WIDTH 80
30 DIM V(20),W(20),D(20),X(20),Y(20),Z(20),M(20),B(20)
40 DIM XX(20),YY(20),VV(20),WW(20),QQ(23)
50 MAXFILES=1
60 KEY OFF:MA$="R.###"
70 CLS
80 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:
90 '
100 PRINT"          Programa para calculo grafico-numerico de"
110 PRINT"          um extrator solido-liquido de acucar de cana."
120 PRINT
130 PRINT"          versao 7          "
140 PRINT
150 PRINT
160 PRINT"          Enrique Ortega Rodriguez      "
170 PRINT"          -----      "
180 PRINT
190 PRINT"          Adalberto Amaral Ribeiro      "
200 PRINT"          Fernando de Andrade Neto      "
210 PRINT"          Joelma A. Gouveia            "
220 PRINT
230 PRINT"          Departamento de Engenharia de Alimentos"
240 PRINT"          F.E.A. - UNICAMP"
250 PRINT
260 PRINT"          Campinas, 8 de junho de 1990."
270 '
280 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";:A$=INPUT$(1)
290 CLS
300 LOCATE 2,10:PRINT"          INTRODUCAO DOS DADOS NECESSARIOS:"
310 LOCATE 5,10:PRINT"          Composicao da materia-prima: cana (C)"
320 LOCATE 7,10:PRINT" Brix da cana = BC          15 < BC < 26      BC medio = 20"
330 LOCATE 8,10:PRINT" Unidade da cana (X) = UC      65 < UC < 70      UC medio = 67"
340 LOCATE 11,10:PRINT" FORNECA OS VALORES:          ... e tecle <Enter>"
350 LOCATE 12,10:PRINT"          BC =";:INPUT " ",BC
360 LOCATE 12,35:COLOR 0,6:PRINT BC:COLOR 7,0
370 IF BC<15 OR BC>26 THEN BEEP:GOTO 350
380 LOCATE 14,10:PRINT"          UC =";:INPUT " ",UC
390 LOCATE 14,35:COLOR 0,6:PRINT UC:COLOR 7,0
400 IF UC<65 OR UC>70 THEN BEEP:GOTO 380
410 LOCATE 11,1:PRINT SPC(79)
420 XF=UC*BC/(100*(100-BC))
430 YF=UC/100
440 ZF=1-XF-YF
450 LOCATE 17,10:PRINT" Calculos:"
460 LOCATE 18,12:PRINT"          Xs,c = UC*BC / 100*(100-BC) = ";USING"#.####":XF
470 LOCATE 20,12:PRINT"          Xa,c =          UC / 100      = ";USING"#.####":YF
480 LOCATE 22,12:PRINT"          Xf,c = 1 - Xs,c - Xa,c      = ";USING"#.####":ZF
490 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";:A$=INPUT$(1)
500 CLS
510 LOCATE 10,10:PRINT"          COMPOSICAO DO SOLVENTE (A):"
520 XA=0:YA=1:ZA=0
530 LOCATE 12,10:PRINT"          Ya,A=";YA;" (agua pura)"
540 LOCATE 14,10:PRINT"          Ys,A=";XA;" (sem soluto)"

```

```

550 LOCATE 16,10:PRINT "Yf,A=";ZA; " (nem fibra)"
560 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";A$=INPUT$(1)
570 CLS
580 LOCATE 1,10:PRINT"COMPOSICAO DO RESIDUO FINAL (megaco): Xi,m = f(Xf,H)"
590 LOCATE 3,10:PRINT"Xf,m = curva de equilibrio = f(M/C) = f(dp,T,t)"
600 LOCATE 5,10:PRINT" grau de extracao efetivo = F * (B)/(B*) = f(dp,T,t)"
610 LOCATE 7,10:PRINT" M/C = relacao massica megaco/cana"
620 LOCATE 9,10:PRINT" dp = diametro medio de particula (mm)"
630 LOCATE 11,10:PRINT" T = temperatura (graus Celsius)"
640 LOCATE 13,10:PRINT" t = tempo de contato (minutos)"
650 LOCATE 15,10:PRINT" H = (B/B*) = grau de extracao, em batelada"
660 LOCATE 17,10:PRINT" F = fator de ajuste, difusor de planta-piloto"
670 LOCATE 19,10:PRINT"Tempo recomendado para uma boa extracao: ";:COLOR 0,6:PRINT"t = 22 minutos":COLOR 7,0
680 LOCATE 21,10:PRINT"Portanto, para determinarmos a composicao do megaco"
690 LOCATE 22,10:PRINT"precisamos apenas dos valores de: ";
700 COLOR 0,6:PRINT" dp ";:COLOR 7,0:PRINT" e ";:COLOR 0,6:PRINT" T ";:COLOR 7,0
710 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";A$=INPUT$(1)
720 CLS
730 LOCATE 2,10:PRINT"Escolha os valores de dp e T teclando a letra respectiva + <ENTER>"
740 LOCATE 4,1:PRINT"
750 LOCATE 5,1:PRINT"
760 LOCATE 6,1:PRINT"
770 LOCATE 7,1:PRINT"
780 LOCATE 8,1:PRINT"
790 LOCATE 9,1:PRINT"
800 LOCATE 10,1:PRINT"
810 LOCATE 11,1:PRINT"
820 LOCATE 12,1:PRINT"
830 LOCATE 13,1:PRINT"
840 LOCATE 14,1:PRINT"
850 LOCATE 15,10:PRINT"Opcao + <Enter>:"
860 LOCATE 15,27:INPUT" ",O$
870 PP=0:FOR P=65 TO 70
880 IF O$=CHR$(P) OR O$=CHR$(P+32) THEN PP=1
890 NEXT P
900 IF PP<>1 THEN BEEP:GOTO 860
910
920 IF O$="a" OR O$="A" THEN F=.925:H=.922:RM=2.1:TE=25:DP=1.2:LOCATE 9,41:COLOR 0,6:PRINT " <";O$;"> ":COLOR 7,0
930 IF O$="b" OR O$="B" THEN F=.939:H=.926:RM=1.94:TE=25:DP=1 :LOCATE 9,58:COLOR 0,6:PRINT " <";O$;"> ":COLOR 7,0
940 IF O$="c" OR O$="C" THEN F=.928:H=.93:RM=2.06:TE=30:DP=1.2:LOCATE 11,41:COLOR 0,6:PRINT " <";O$;"> ":COLOR 7,0
950 IF O$="d" OR O$="D" THEN F=.94:H=.933:RM=1.94:TE=30:DP=1 :LOCATE 11,58:COLOR 0,6:PRINT " <";O$;"> ":COLOR 7,0
960 IF O$="e" OR O$="E" THEN F=.939:H=.959:RM=1.85:TE=50:DP=1.2:LOCATE 13,41:COLOR 0,6:PRINT " <";O$;"> ":COLOR 7,0
970 IF O$="f" OR O$="F" THEN F=.941:H=.963:RM=1.77:TE=50:DP=1 :LOCATE 13,58:COLOR 0,6:PRINT " <";O$;"> ":COLOR 7,0
980
990 'OBS: F e um fator de ajuste determinado para cada extrator e cada conjunto de parametros
1000
1010 LOCATE 15,10:PRINT "Rendimento de extracao em batelada : H =";USING MA$;H
1020 LOCATE 16,10:PRINT "Possivel valor de eficiencia mecanica : F =";USING MA$;F
1030 LOCATE 17,10:PRINT "Rendimento previsto: H*F = ";USING MA$;H;:PRINT " x ";USING MA$;F;:PRINT " = ";USING

```

```

MA$;H*F
1040 LOCATE 18,10:PRINT "Muda F? NAO:      <ENTER> "
1050 LOCATE 19,10:PRINT "      SIM: s + <ENTER> ":INPUT " ",F$
1060 IF F$="s" OR F$="S" THEN LOCATE 18,1:PRINT SPC(79):LOCATE 19,1:PRINT SPC(79):LOCATE 20,1:PRINT
SPC(79):LOCATE 18,10:PRINT ".....Digite o novo valor de F: ":INPUT "",F
1070 LOCATE 17,45:COLOR 0,6:PRINT USING"###";F:COLOR 7,0
1080 LOCATE 17,53:COLOR 0,6:PRINT USING"###";H*F:COLOR 7,0
1090 LOCATE 18,1:PRINT SPC(79):LOCATE 19,1:PRINT SPC(79)
1100 LOCATE 21,10:PRINT"Relacao megaco/cana (Kg/Kg): M/C = ";USING"###";RM
1110 LOCATE 22,10:PRINT"Tecla <Enter> para confirmar ou novo valor + <Enter>:";
1120 INPUT "",RM2:IF RM2<>0 THEN RM=RM2:LOCATE 21,45:COLOR 0,6:PRINT USING"###";RM:COLOR 7,0
1130 LOCATE 22,1:PRINT SPC(79)
1140 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...":A$=INPUT$(1)
1150 CLS
1160 ZR=ZF/RM
1170 XR=(1-H*F)*(XF/RM)
1180 YR=1-ZR-XR
1190 Q=1-ZR
1200 LOCATE 2,10:PRINT"Calculo da composicao do residuo final (megaco)"
1210 LOCATE 5,10:PRINT"Xf,m =      Xf,c / (M/C)      = ";USING"###";ZR
1220 LOCATE 7,10:PRINT"Xs,m =(1-H*F)* Xs,c / (M/C) = ";USING"###";XR
1230 LOCATE 9,10:PRINT"Xa,m =      1 - Xf,m - Xs,m      = ";USING"###";YR
1240 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...":A$=INPUT$(1)
1250 CLS:-----
1260 Q0=1-ZR*H
1270 IF Q$="a" OR Q$="A" OR Q$="B" OR Q$="b" THEN 1300
1280 IF Q$="c" OR Q$="C" OR Q$="D" OR Q$="d" THEN 1300
1290 IF Q$="E" OR Q$="e" OR Q$="F" OR Q$="f" THEN 1310
1300 Z1=ZF/(RM/1.105):Z2=ZF/(RM/1.29):Z3=ZF/(RM/1.21):Z4=ZF/(RM/1.3):GOTO 1320
1310 Z1=ZF/(RM/1.65):Z2=ZF/(RM/1.33):Z3=ZF/(RM/1.26):Z4=ZF/(RM/1.2):GOTO 1320
1320 Q01=1-Z1*H:Q02=1-Z2*H:Q03=1-Z3*H:Q04=1-Z4*H
1330 Z8=ZF/(RM/.94):Z9=ZF/(RM/.84):Z10=ZF/(RM/.7)
1340 Q08=1-Z8*H:Q09=1-Z9*H:Q010=1-Z10*H
1350 Q0(1)=Q01:Q0(2)=Q02:Q0(3)=Q03:Q0(4)=Q04
1360 FOR Q0N=5 TO 7
1370 Q0(Q0N)=Q0
1380 NEXT Q0N
1390 Q0(8)=Q08:Q0(9)=Q09:Q0(10)=Q010
1400 MU=12:FOR Q0N=11 TO 20
1410 Q0(Q0N)=Q010*(MU/(MU-.1)):MU=MU-1
1420 NEXT Q0N
1430 FOR Q0N=1 TO 20
1440 LOCATE Q0N+3,10:PRINT"Xf,m( ";USING"##";Q0N:PRINT") = ";:
1450 PRINT USING"###";1-Q0(Q0N)
1460 NEXT Q0N
1470 LOCATE 1,10:PRINT"Altere o valor ou tecla <Enter> para aceita'-lo"
1480 FOR Q0N=1 TO 20
1490 LOCATE Q0N+3,21:INPUT " ",Z1
1500 IF Q0N<>0 THEN Q0(Q0N)=1-Z1:LOCATE Q0N+3,21:COLOR 0,6:PRINT USING "###";1-Q0(Q0N):COLOR 7,0
1510 NEXT
1520 CLS:-----
1530 LOCATE 2,10:PRINT"      COMPOSICAO DO EXTRATO FINAL (E)"
1540 LOCATE 5,10:PRINT"      Equacoes:"
1550 LOCATE 6,10:PRINT"      Ya,e = BE / 100"
1560 LOCATE 8,10:PRINT"      Ya,e = 1 - Ya,e"

```

```

1570 LOCATE 10,10:PRINT"      onde BE = Brix do extrato final"
1580 LOCATE 13,10:PRINT"      A pratica sugere: BE = 0.7325*BC  "
1590 BE=.7325*BC
1600 LOCATE 15,10:PRINT"      Valor recomendado: BE = ";USING"###.##";BE
1610 LOCATE 18,10:PRINT"Tecla <Enter> para confirmar ou um novo valor + <Enter>"
1620 LOCATE 20,10:PRINT"      BE escolhido = ";;INPUT"";BE2
1630 IF BE2<>0 THEN BE=BE2
1640 LOCATE 20,30:PRINT USING"###.##";BE
1650 XE=BE/100
1660 YE=1-XE
1670 LOCATE 6,40:PRINT"= ";:COLOR 0,6:PRINT USING"%###";XE:COLOR 7,0
1680 LOCATE 8,40:PRINT"= ";:COLOR 0,6:PRINT USING"%###";YE:COLOR 7,0
1690 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...";:A$=INPUT$(1)
1700 CLS
1710 'CALCULO DAS RELACOES MASSICAS:
1720 'Linha Cana-Solvente
1730 ME=(YF-YA)/(XF-XA)
1740 BE=YA-ME*XA
1750 'Linha Megaco-Extrato
1760 MS=(YE-YR)/(XE-XR)
1770 BS=YR-MS*XR
1780 'Ponto de cruzamento das correntes
1790 XK=(BE-BS)/(MS-ME)
1800 YK=ME*XK+BE
1810 'Segmento correspondente 'a massa da cana
1820 CK=((XK-XA)^2+(YA-YK)^2)^.5
1830 'Segmento correspondente 'a massa de agua
1840 AK=((YK-YF)^2+(XF-XK)^2)^.5
1850 'Segmento correspondente 'a massa de extrato
1860 EK=((YR-YK)^2+(XK-XR)^2)^.5
1870 'Segmento correspondente 'a massa de megaco
1880 MK=((YK-YE)^2+(XE-XK)^2)^.5
1890 'Relacao agua-cana
1900 C=1
1910 A=(AK/CK)*C
1920 'Relacao megaco-extrato
1930 RME=MK/EK
1940 'Calculo do extrato
1950 E=(C+A)/(1+RME)
1960 'Calculo do megaco
1970 M=RME*E
1980 LOCATE 10,19:PRINT "VALORES RELATIVOS DAS VACOES MASSICAS:"
1990 LOCATE 19,19:PRINT "C=";USING"###.###";C::PRINT " A=";USING"###.###";A::
2000 PRINT " E=";USING"###.###";E::PRINT " M=";USING"###.###";M:
2010 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecla algo...";:A$=INPUT$(1)
2020 CLS
2030 LOCATE 2,10:PRINT"Calculo das coordenadas do ponto focal M"
2040 LOCATE 3,10:PRINT"(referencia das linhas virtuais de mistura)"
2050 PI=(YE-YF)/(XE-XF):LOCATE 5,10:PRINT"PI =" ;USING"#####.#####";PI
2060 OI=(XE*YF)-(XF*YE)/(XE-XF):LOCATE 7,10:PRINT"OI =" ;USING"#####.#####";OI
2070 LOCATE 9,10:PRINT"Y = (" ;USING"#####.#####";PI::PRINT " )X + (" ;USING"#####.#####";OI::PRINT " )"
2080 PF=(YA-YR)/(XA-XR):LOCATE 11,10:PRINT"PF =" ;USING"#####.#####";PF
2090 OF=((XA*YR)-(XR*YA))/(XA-XR):LOCATE 13,10:PRINT"OF =" ;USING"#####.#####";OF
2100 LOCATE 15,10:PRINT"Y = (" ;USING"#####.#####";PF::PRINT " )X + (" ;USING"#####.#####";OF::PRINT " )"
2110 LOCATE 18,10:PRINT"Coordenadas do ponto focal M:"

```



```

2120 XM=(OF-OI)/(PI-PF):LOCATE 20,10:PRINT"XM =" ;USING"###.###";XM
2130 YM=((PI*OF)-(PF*OI))/(PI-PF):LOCATE 22,10:PRINT"YM =" ;USING"###.###";YM
2140 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";A$=INPUT$(1)
2150 CLS
2160 LOCATE 2,10:PRINT"Calculo do numero de estagios:"
2170 N=1
2180 V(N)=XE
2190 W(N)=YE
2200 LOCATE 4,10:PRINT"Estagio Numero ";N
2210 LOCATE 6,10:PRINT"V(";N;") =" ;USING"###.###";V(N)
2220 LOCATE 8,10:PRINT"W(";N;") =" ;USING"###.###";W(N)
2230 D(N)=W(N)/V(N):LOCATE 10,10:PRINT"D(";N;") =" ;USING"###.###";D(N)
2240 X(N)=D(N)/(1+D(N)):LOCATE 12,10:PRINT"X(";N;") =" ;USING"###.###";X(N)
2250 Y(N)=D(N)*X(N):LOCATE 14,10:PRINT"Y(";N;") =" ;USING"###.###";Y(N)
2260 Z(N)=1-X(N)-Y(N):LOCATE 16,10:PRINT"Z(";N;") =" ;USING"###.###";Z(N)
2270 IF X(N)<=XR THEN BEEP:FOR TIM=0 TO 1200:NEXT:GOTO 2380
2280 M(N)=(Y(N)-YM)/(X(N)-XM):LOCATE 18,10:PRINT"M(";N;") =" ;USING"###.###";M(N)
2290 B(N)=(X(N)*YM)-(XM*Y(N))/(X(N)-XM):LOCATE 20,10:PRINT"B(";N;") =" ;USING"###.###";B(N)
2300 LOCATE 22,10:PRINT"Y = (" ;USING"###.###";M(N);:PRINT") X + (" ;USING"###.###";B(N);:PRINT")"
2310 T=(1-B(N))/(M(N)+1)
2320 C=(M(N)+B(N))/(M(N)+1)
2330 N=N+1:V(N)=T:W(N)=C
2340 IF N>20 THEN CLS:BEEP:LOCATE 12,1:PRINT"Desculpe, impossivel calcular extrator com mais de 20
estagios":PRINT:PRINT"Tecle algo para REINICIAR o programa":A$=INPUT$(1):RUN
2350 LOCATE 24,1:PRINT STRING$(64,"-");"Tecle algo...";A$=INPUT$(1)
2360 CLS
2370 GOTO 2200
2380 CLS:LOCATE 12,10:PRINT"Se voce quiser que o grafico apareca : "
2390 LOCATE 14,10:PRINT"unicamente na TELA -----> aperte a tecla T"
2400 LOCATE 16,10:PRINT"na tela e tambem na IMPRESSORA -----> aperte a tecla P"
2410 A$=INPUT$(1)
2420 IF A$<>"P" AND A$<>"p" AND A$<>"T" AND A$<>"t" THEN BEEP:GOTO 2410
2430 'CONSTRUCAO DO GRAFICO
2440 CLS:SCREEN 2:WIDTH 80
2450 'DIAGRAMA TRIANGULAR DE EXTRACAO
2460 LINE(100,10)-(100,160):LINE-(400,160)
2470 LINE(100,10)-(400,160)
2480 FOR CZ=30 TO 150 STEP 150/5
2490 LINE(100,CZ+10)-(100,CZ+10)
2500 LINE((CZ+50)*2,160)-((CZ+50)*2,156)
2510 NEXT CZ
2520 OPEN "SCRN:" FOR OUTPUT AS #1
2530 LOCATE 22,13:PRINT#1,"0 Xs,m e Ys,e 0.5"
2540 LOCATE 2,9:PRINT#1,"1"
2550 LOCATE 8,6:PRINT#1,"Ya,e"
2560 LOCATE 14,6:PRINT#1,"Xa,m"
2570 LOCATE 20,8:PRINT#1,".5"
2580 'LINHA DOS SOLIDOS ESCORRIDOS
2590 Q1=INT(0*300)
2600 LINE(100,310-Q1)-((Q1-100)*2,160),,,&HCCCC:FOR I=1 TO 800:NEXT I
2610 'PONTOS DAS ENTRADAS E SAIDAS
2620 'SOLVENTE PURO(A)
2630 PSET(100,10):CIRCLE(100,10),6
2640 'EXTRATO(E)
2650 EX=INT(XE*300):EY=(YE*300)

```

```

2660 PSET((50+EX)*2,310-EY):CIRCLE((50+EX)*2,310-EY),6
2670 'PONTO DA MATERIA PRIMA (F)
2680 FX=INT(XF*300):FY=(YF*300)
2690 PSET((50+FX)*2,310-FY):CIRCLE((50+FX)*2,310-FY),6
2700 'PONTO DO RESIDUO SOLIDO (R)
2710 RX=INT(XR*300):RY=INT(YR*300)
2720 PSET((50+RX)*2,310-RY):CIRCLE((50+RX)*2,310-RY),6
2730 'ADAPTACAO DAS MAGNITUDES
2740 FOR G=1 TO N
2750 VV(G)=INT(V(G)*300):WW(G)=INT(W(G)*300)
2760 XX(G)=INT(X(G)*300):YY(G)=INT(Y(G)*300)
2770 NEXT G
2780 'MX=INT(XM*300):MY=INT(YM*300)
2790 'TRACEJADO DOS ESTAGIOS
2800 LINE((50+FX)*2,310-FY)-((50+EX)*2,310-EY)
2810 FOR K=1 TO N-1
2820 LINE((VV(K)+50)*2,310-WW(K))-((XX(K)+50)*2,310-YY(K))
2830 FOR TIM=0 TO 20:NEXT:PLAY "L15b"
2840 LOCATE 1,16:PRINT #1,"Estagio:";K
2850 FOR TIM=0 TO 1200:NEXT
2860 LINE((XX(K)+50)*2,310-YY(K))-((VV(K+1)+50)*2,310-WW(K+1))
2870 FOR TIM=0 TO 600:NEXT
2880 NEXT K
2890 FOR TIM=0 TO 100:NEXT:LINE((VV(K)+50)*2,310-WW(K))-((XX(K)+50)*2,310-YY(K))
2900 LOCATE 1,16:PRINT #1,"Estagio:";N
2910 FOR TIM=0 TO 1200:NEXT
2920 'Curva de eficiencia real
2930 FOR K=2 TO N
2940 LINE ((XX(K-1)+50)*2,310-YY(K-1))-((XX(K)+50)*2,310-YY(K))
2950 NEXT K
2960 PLAY "L156A"
2970 LOCATE 1,16:PRINT #1," "
2980 LOCATE 1,44:PRINT #1,"NUMERO DE ESTAGIOS NECESSARIOS:";N
2990 LOCATE 3,44:PRINT #1,"ESTAGIO LIQUIDO SOLIDO "
3000 LOCATE 4,44:PRINT #1,"numero Ys,E Ya,E Xs,M "
3010 FOR J=1 TO N
3020 LOCATE J+4,45:PRINT #1,"";USING"###";J;:
3030 PRINT #1," ";USING"%.###-";V(J),W(J),X(J)
3040 NEXT J
3050 LOCATE 19,16:PRINT #1,"Xf,M= ";USING"%.###";ZR
3060 LOCATE 15,15:PRINT #1,"H= ";USING"%.###";H
3070 LOCATE 16,15:PRINT #1,"F= ";USING"%.###";F
3080 LOCATE 17,15:PRINT #1,"HF= ";USING"%.###";H*F
3090 LOCATE 20,16:PRINT #1,"Xs,M < ";USING"%.###";XR
3100 LOCATE 1,27:PRINT #1," BC = ";USING"%.#";BC
3110 LOCATE 2,27:PRINT #1," UC = ";USING"%.#";UC
3120 LOCATE 3,27:PRINT #1," SE = ";USING"%.###";100*VE
3130 LOCATE 4,27:PRINT #1," M/C = ";USING"%.###";RM
3140 LOCATE 6,30:PRINT #1," t = 22 min."
3150 LOCATE 7,30:PRINT #1,"dp = ";USING"%.#";DP;:PRINT #1," mm"
3160 LOCATE 8,30:PRINT #1," T = ";TE;:PRINT #1," C"
3170 'Calculo da eficiencia real
3180 IF O#="A" OR O#="a" THEN FA=2.2
3190 IF O#="B" OR O#="b" THEN FA=2.1
3200 IF O#="C" OR O#="c" THEN FA=1.3

```

```

3210 IF O$="D" OR O$="d" THEN FA=1.2
3220 IF O$="E" OR O$="e" THEN FA=1.2
3230 IF O$="F" OR O$="f" THEN FA=1.15
3240 HR=1-FA*(X(N)*RM/XF)
3250 'Impressao dos resultados
3260 LOCATE 24,6:PRINT #1,"C=";USING"#.###";C::PRINT #1," A=";USING"#.###";A::
3270 PRINT #1," E=";USING"#.###";E::PRINT #1," M=";USING"#.###";M:
3280 LOCATE 18,15:PRINT #1,"H'= ";USING"#.###";HR
3290 IF A$="P" OR A$="p" THEN SHELL"a:descarga.com"
3300 PLAY "L15DE":LOCATE 24,60:PRINT"Tecla algo ...";
3310 V$=INPUT$(1):'uma tecla para continuar
3320 CLOSE
3330 CLS
3340 LOCATE 12,10:PRINT"Opcoes:"
3350 LOCATE 14,10:PRINT"      1 - Fazer outro calculo"
3360 LOCATE 16,10:PRINT"      2 - Retornar ao programa principal"
3370 A$=INPUT$(1)
3380 IF A$<"1" AND A$>"2" THEN BEEP:GOTO 3370
3390 IF A$="1" THEN RUN

```