

Simulação de processos na indústria de celulose e papel

MFN -0510

N CHAMADA:

TITULO: Simulação de processos na indústria de celulose e papel

AUTOR(ES): LIMA, A.F.PINTO, J.M.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO: 09.2. instrumentação / controle de processo

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 20

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 16-20.11.1987

IMPRESSÃO: São Paulo, 1987, ABTCP

PAG/VOLUME: p.355-368,

FONTE: Congresso Anual da ABCP, 20, 1987, São Paulo, p.355-368

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR: simulação, avaliação de desempenho

RESUMO: O presente trabalho procura difundir entre os técnicos das indústrias brasileiras a aplicação da informática, na forma de simulação de processos. A utilização de computadores para a simulação de processos e operações unitárias da indústria de celulose e papel tem se consolidado como uma ferramenta eficaz na análise de desempenho, na otimização, no projeto e no controle de processos. São analisados os impactos e benefícios da simulação de processos na indústria de celulose e papel e discutidas as tendências no exterior e necessidades a nível nacional

SIMULAÇÃO DE PROCESSOS NA
INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL



Alberto Ferreira Lima
Song Won Park
José Maurício Pinto
IPT/CTCP - Centro Técnico em Celulose e Papel

RESUMO:

O presente trabalho procura difundir entre os técnicos das indústrias brasileiras a aplicação da informática, na forma de simulação de processos. A utilização de computadores para a simulação de processos e operações unitárias da indústria de celulose e papel tem se consolidado como uma ferramenta eficaz na análise de desempenho, na otimização, no projeto e no controle de processos.

São analisados os impactos e benefícios da simulação de processos na indústria de celulose e papel e discutidas as tendências no exterior e necessidades a nível nacional.

I. Introdução

Computadores têm tido uma presença relevante na engenharia de processos nestes últimos anos. A já conhecida evolução de hardware e de software aliada à perspectiva futura de maior confiabilidade, maior capacidade, maior versatilidade e de menor custo, indicam a expansão da utilização destes equipamentos.

As quatro áreas de engenharia química que receberam o maior impacto do emprego dos computadores foram (01): controle de processos; análise, otimização e projeto de processos; aquisição e tratamento de dados do processo, e desenhos gráficos.

Entre as várias utilizações, uma aplicação importante e específica à engenharia química é a simulação de processos químicos. Mais eloquente que os artigos de desenvolvimento, uma demonstração efetiva da crescente, porém insuficiente, utilização de simulação são os artigos de divulgação, como os aqui citados (02 a 09) a título de ilustração. Atualmente publica-se anualmente, mais de 3000 trabalhos relativos ao desenvolvimento, divulgação e aplicação de softwares para simulação de processos.

"Trabalho apresentado no XX Congresso Anual de Celulose e Papel da ABCP, realizado em São Paulo - SP - Brasil, de 16 a 20 de Novembro de 1987".

II. Simulação de Processos

Um simulador de processos pode ser definido (10, 11) de um modo simplista e abrangente como um programa de computador digital que calcula balanços de massa e de energia para um dado sistema de processamento.

De acordo com objetivos específicos, o simulador pode incorporar balanço de movimento, análise de exergia ou energia livre de Gibbs (2a. lei da termodinâmica), relações empíricas, dimensionamento de equipamentos e cálculos de custos.

Um simulador pode ser desenvolvido para regime estacionário ou para regime dinâmico. Pode também ser específico à simulação de uma operação unitária ou de um sistema de operação unitária, ou ser elaborado para uso geral na simulação de diferentes configurações de plantas químicas. Neste último caso, é mais conhecido como simulador de processos ("general-purpose simulator" ou "flowsheet-simulator") utilizando-se atualmente do conceito de sistema modular, isto é, as operações unitárias são apresentadas em módulos, que podem ser combinados entre si para representar uma configuração da planta química.

Historicamente (10, 11), o período de 1955-9 é marcado pelas primeiras tentativas de simulação segundo o conceito modular. No início da década de 60 são desenvolvidos pelas universidades e companhias químicas alguns simuladores, seguindo-se um período (1965-9) de testes e simulação de uma variedade de casos industriais, com dificuldades inerentes ao desenvolvimento. Note-se que nesta época os computadores de grande capacidade tornam-se mais acessíveis.

A década de 70 é caracterizada pelo início da comercialização de simuladores e pelo surgimento de novos programas, muitos dos quais, derivados da arquitetura dos primeiros simuladores. Os desenvolvimentos continuam, principalmente orientados para resoluções mais rápidas, tais como algoritmos para simuladores: orientados a equações, simultâneos e dinâmicos.

Alguns classificam os simuladores de primeira à terceira geração, porém esta classificação muitas vezes não possui utilidade uma vez que, vários programas sofrem constantes atualizações e as aplicações dependem das necessidades específicas do problema considerado.

III. Aplicações e Benefícios

A partir de 1970 os engenheiros de processo começaram a aceitar os simuladores como úteis e econômicos. Muitas companhias passam a requisitar a simulação prévia da planta química a ser adquirida.

As principais aplicações de simuladores incluem:

- . análise de gargalos de operação
- . análise de sensibilidade das variáveis de processo
- . modificações de processo e projetos de expansão
- . conservação de energia
- . estudos de eficiência
- . monitoração e verificação de dados operacionais
- . avaliação de matérias-primas alternativas
- . otimização de vazão e alocação de recursos
- . "scale-up" de planta piloto
- . estudos de viabilidade técnico ou econômica de processos
- . avaliação de processos competitivos
- . desenvolvimento e projeto de novos processos

Numa planta química existente, a experimentação direta possui uma série de desvantagens, tais como interrupção da operação do processo; difícil reprodutibilidade das condições do experimento; alto custo e consumo de tempo e, impossibilidade operacional do experimento devido a exigência da mudança de equipamentos ou devido a condições de periculosidade.

Deste modo, a simulação permite contornar as dificuldades acima citadas e adicionalmente, manipular as várias interações internas e complexas de um processo e, compreender de forma mais sistemática o comportamento da planta química.

Por outro lado, se a utilização do simulador não for planejada de maneira apropriada, as execuções da simulação podem ser onerosas. Deve haver uma clara compreensão dos modelos matemáticos envolvidos, pois hipóteses críticas imbutidas nestes modelos podem levar a resultados errados.

É importante ressaltar que a simulação não modifica a função do engenheiro de processos mas sim aumenta a qualidade de seu trabalho, direcionando-o à análise e visão criativa do problema e liberando-o dos cálculos de rotina.

Alguns dos benefícios diretos na diminuição de custos devido a utilização de simuladores são:

- . redução do custo de capital de novos projetos (ou de expansões) devido à menor superespecificação
- . redução do custo de projeto devido à diminuição do tempo de elaboração, comissionamento e partida
- . redução do custo, tamanho e complexidade de planta pilotos
- . redução de custos operacionais devido à otimização de processos
- . economia de mão-de-obra em cálculos rotineiros e repetitivos

Os benefícios às vezes denominados intangíveis por não serem diretamente quantificados, embora significativos, são:

- . elevação da qualidade do projeto devido à utilização de dados e técnicas uniformes e precisas
- . aumento da capacitação de recursos humanos
- . auxílio no estabelecimento de prioridades para implantação de projetos no contexto da fábrica
- . possibilidade de acúmulo e reutilização do conhecimento tecnológico
- . identificação de falhas, deficiências e inconsistências no conhecimento do processo e que devem ser preenchidas
- . possibilidade de direcionamento e avaliação de atividades de institutos de pesquisa e de universidades ao encontro de necessidades industriais.

IV. Tipos de Simuladores

Existem atualmente pelo menos 80 simuladores disponíveis, além daqueles desenvolvidos para o uso interno das companhias e de simuladores de operações unitárias específicas. Alguns dos mais conhecidos estão descritos sumariamente em McConnel (11) e Leesley (12). Outros sistemas estão em estudo.

Os simuladores gerais de processo podem ser de regime estacionário ou dinâmico. A simulação dinâmica do processo não será abordada aqui.

Todos os simuladores de processo em regime estacionário possuem basicamente seis elementos, como indicado na figura 1:

- . executivo
- . leitura e pré-processamento de dados
- . geração de avisos e relatórios
- . algoritmos de solução
- . propriedades físicas e termodinâmicas
- . módulos de unidades (modelos matemáticos)

É comum considerar-se os quatro primeiros elementos sob o nome genérico de programa executivo. O executivo controla o fluxo de informação entre as diversas etapas do programa, lê os dados, acessa propriedades termodinâmicas, controla o método de solução iterativa e gera resultados.

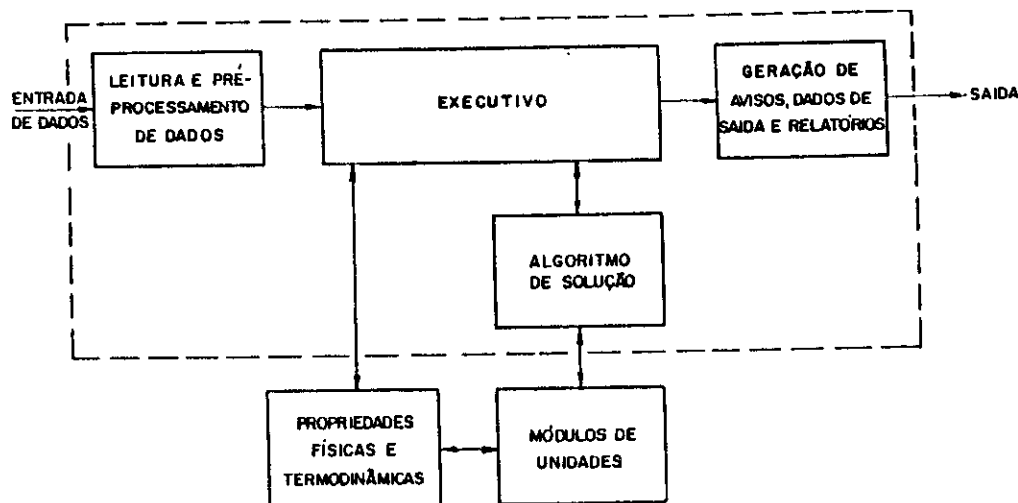


Fig. 1 COMPONENTES COMUNS DE SIMULADORES DE PROCESSOS

Independente da simulação, a determinação de propriedades sempre foi considerada importante na engenharia química.

O banco de propriedades contém dados dos componentes mais usuais, incluindo constantes físicas (p.ex., peso molecular, propriedades críticas, calor específico) e correlações para cálculo de propriedades (constante de equilíbrio, entalpia, etc). Consiste basicamente de quatro partes: subrotina de correlações, subrotinas de tabela de dados, programa de geração de pontos e "deck" de coeficientes. Um banco de propriedades (13) pode ter de 5-40 propriedades para até 14.000 compostos químicos.

A maioria dos pacotes de simulação contém informações referentes à compostos da área petroquímica, com carência em outros setores de processamento. Um banco de dados deve possibilitar portanto, a adição de novos compostos e novas propriedades. Os dados de propriedades e suas correlações, generalizadas ou não, são objetos de continua pesquisa.

Módulo de unidades podem ser blocos de controle de simulação (que não tem existência real na planta química), ou módulos de operações unitárias, tais como misturador, tanque, reator, trocador de calor, etc.

A construção dos modelos (representação matemática da operação unitária de processo) envolve, em geral, vários elementos de conhecimento: entendimento de mecanismos físicos e químicos, escolha da representação matemática adequada, reconhecimento de interações físicas/químicas, disponibilidade de dados de propriedades e de parâmetros adequados, e validação através de experimentos.

Apesar de ter sido citado anteriormente que a simulação é o cálculo de balanços de massa, energia e outros, a escolha e construção de um modelo adequado exige uma maturidade e integração de conhecimento do estado da arte de toda a gama de engenharia química relativa a um dado processo. Por exemplo, um modelo de evaporador pode ser mais simples (4 equações), até mais complexo (38 equações); nem sempre sendo o modelo mais simples ou o mais complexo a representação adequada para um dado problema. Adicionalmente, necessita-se de conhecimentos de métodos numéricos adequados à engenharia química, tanto para solução de equações diferenciais (14) quanto para sistema de equações algébricas (10, 15).

Um problema de simulação de uma planta química pode ser visto como a resolução de um grande sistema de equações não lineares. As equações da simulação são de três tipos:

- . equações do modelo, incluindo modelo de operações unitárias do processo e as propriedades físicas e termodinâmicas
- . equações de conexão que indicam como as unidades estão interligadas
- . especificações

Na abordagem modular, as equações do modelo de operação unitária são calculadas a partir de uma biblioteca de "módulos" ou subrotinas (fig. 1).

As diferentes técnicas, modular sequencial, modular simultânea, e global (ou "orientada a equações"), diferem fundamentalmente na abordagem da resolução destas equações. A seguir, na tabela 1, são sumarizadas as principais características, vantagens e desvantagens destas técnicas de simulação (10, 16).

A simulação modular sequencial é a mais utilizada industrialmente. As correntes de saída são calculadas a partir das características das correntes de entrada e de especificações do módulo. A passagem dos valores de saída de um módulo para a entrada de um outro módulo é gerenciada pelo programa executivo através de informações sobre as conexões dos módulos. A existência de ciclos, como é usual nas plantas químicas, requer cálculo iterativo a nível do programa executivo, para convergir as correntes. No caso de ciclo, deve-se ainda estabelecer a melhor sequência de cálculos.

Estudos de estratégias alternativas de convergência (17) e de otimização (18) utilizando simuladores modulares sequenciais, indicam a tendência de modificação destes simuladores para os simuladores modulares simultâneos (16).

Tabela I. Resumo de Vantagens e Desvantagens de Três Técnicas de Simulação de Processos (16).

| ABORDAGEM | VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---------------------|---|---|
| Sequencial | <ul style="list-style-type: none"> . uso fácil pelo engenheiro de processos pois o esquema é similar ao fluxograma de processo . o fluxo de informações é altamente estruturado . modificação ou introdução de novas equações de modelo é fácil . cada módulo pode ser testado individualmente, sendo mais fácil detectar erros . não exige muita memória de computador (além daquela exigida por cada módulo) | <ul style="list-style-type: none"> . quando há correntes de reciclo, o número de iterações é elevado (consequentemente, tempo maior) . geralmente requer algum tipo de acelerador de convergência . manuseio de especificações de projeto e otimização de processos é dificultado |
| Simultânea | <ul style="list-style-type: none"> . não há necessidade de se preocupar com correntes de reciclo . número de iterações reduzido em relação ao sequencial . permite incluir especificações de projeto e otimização | <ul style="list-style-type: none"> . a linearização é um pobre modelo para algumas unidades . o sistema linear é esparsos e grande. O problema de espaço de memória pode ser resolvido com a técnica de matrizes esparsas, exigindo algoritmo mais complexo |
| Baseada em equações | <ul style="list-style-type: none"> . não há necessidade de se preocupar com correntes de reciclo . especificações do projeto são simples equações dentro do sistema . grande potencial para otimização . em comparação ao sequencial oferece maior velocidade e flexibilidade | <ul style="list-style-type: none"> . sistema linear é esparsos e grande . tempo de computação e espaço de memória podem ser proibitivos . dificuldade em analisar erros quando estes surgem . necessidade de boas estimativas iniciais . trabalho maior para construir o executivo |

O modular simultâneo requer que todos os módulos das unidades sejam escritos como no modular sequencial, ou seja cada módulo é construído de modo que os valores das correntes de saída são calculados a partir das correntes de entrada e das especificações.

Neste ponto ocorre uma diferença fundamental: dada a situação presente de todas as variáveis no processo é obtida uma representação linearizada das equações das unidades. Estas equações linearizadas são então resolvidas simultaneamente. O processo é repetido até a obtenção da convergência.

O conceito de simulador modular simultâneo não é novo, porém recentemente (16, 18) aumentou-se o interesse, por tentar combinar os melhores feitos do modular sequencial com os do simulador orientado a equações.

Na abordagem do simulador orientado a equações, todas as equações de todas as operações unitárias, equações de conexão e especificações são resolvidas simultaneamente. Note-se que no modular simultâneo as equações internas aos módulos não eram consideradas na resolução simultânea.

Nas versões atualmente existentes, as equações podem ser linearizadas ou não. O gerenciamento de informações topológicas do processo (conexão de correntes do processo) requer um maior trabalho. Devido a potencialidade prevê-se que este tipo de abordagem seja promissor no futuro, conforme indicado na literatura (17).

V. Programas de Simulação para a Indústria de Celulose e Papel

Há determinados aspectos que distinguem os simuladores dos processos da indústria de celulose e papel daqueles utilizados em outros setores industriais tais como petroquímica. Uma das principais características dos simuladores para o setor celulósico-papeleiro é que necessitam incluir, em suas correntes, sólidos assim como líquidos e vapores.

Tipicamente utilizam um reduzido banco de dados, uma vez que ainda muito pouco é conhecido sobre as propriedades de materiais complexos como as fibras, licores e subprodutos. Este é um grande contraste com relação à petroquímica, onde há disponibilidade de extensos bancos de dados de propriedades para um número elevado de componentes.

Os principais simuladores de processo (regime permanente) usados na indústria de celulose e papel são indicados na tabela 2.

Tabela II. Programas de Simulação para Processos da Indústria de Celulose e Papel Disponíveis Comercialmente.

| Simulador | Data da Versão Inicial |
|-----------|------------------------|
| GEMS | 1972 |
| MASSBAL | 1979 |
| ASPEN | 1981 |
| FLOWCALC | 1983 |
| MAPPS | 1984 |

GEMS foi o primeiro simulador específico para a indústria de celulose e papel, sendo desenvolvido pelo Depto. de Engenharia Química da University of Idaho - USA a partir da arquitetura do simulador PACER. Teve atualizações e expansões em 1977 e 1984. Tem sido utilizado intensivamente pela indústria e centros de pesquisa(19 a 22).

É um programa modular sequencial, sendo sua versão inicial restrita a computadores de grande porte; possui agora uma versão compatível com micros da linha IBM-PC. Um pacote de otimização linear (GEMSOP) foi desenvolvido e incorporado ao GEMS (versão micro) facilitando a determinação das melhores condições para um processo.

O CTCP (Centro Técnico em Celulose e Papel-IPT) possui o GEMS e o tem utilizado como ferramenta para apoio a diversos projetos na área de análise de processos(23,24).

Um segundo simulador - MASSBAL, também com elevada utilização pelas indústrias do setor, foi desenvolvido pela University of Western Ontario - Canada. Emprega a abordagem simultânea como algoritmo de cálculo(25,26).

Uma versão expandida do MASSBAL, denominada MASSBAL MK II, foi lançada comercialmente em 1985 e permite a otimização não linear.

Poucas companhias do setor tem usado o ASPEN (ou sua versão ampliada ASPEN PLUS). É um programa bastante extenso elaborado pelo MIT - USA e voltado para a indústria química e geração de energia. Para aplicações em celulose e papel é necessária a formação de um grupo para desenvolvimento de módulos de operações, uma vez que este simulador não possui módulos específicos para o setor(27,28).

O FLOWCALC, desenvolvido pela Universidade de Wisconsin - USA é o único projetado inicialmente para aplicações em microcomputador. Opera interativamente e permite ao usuário ajustar os cálculos ao longo da simulação(11,29).

O simulador MAPPS, comercializado pelo Institute of Paper Chemistry - USA a partir de 1984, é resultante da incorporação de modelos desenvolvidos no próprio Instituto e na Universidade de Mc Gill - Canada. Seu programa executivo e algoritmo de cálculo são baseados no GEMCS e possui atualmente também uma versão para microcomputadores(11,29).

A avaliação e a compararação destes já estabelecidos simuladores não é tarefa simples. Mesmo a adoção de critérios como a atribuição de notas(11) ou um sistema de exemplo-teste padrão(30) mostram a necessidade do conhecimento claro dos objetivos da aplicação atual e futura de um simulador, familiaridade do processo que se deseja simular e dos diferentes tipos de simuladores.

Lista-se a seguir alguns tópicos que devem ser considerados na escolha e utilização de um pacote de simulação:

.Necessidade de "hardware"

- .tipo(micro,mini ou de grande porte)
- .memória requerida
- .tempo de execução

.Características do simulador

- .capacidade de agrupar blocos
- .tipos de componentes nas correntes de processo
- .regime estático(permanente) e/ou dinâmico
- .análise energética
- .reconciliação de dados
- .otimização a partir de restrições(não linear,linear)
- .possibilidade de pós-processamento
- .documentação

.Usuário

- .conhecimento do processo
- .possibilidade de acesso ao programa fonte de modo a poder ampliar o rol de subrotinas ou alterar valores de propriedades dos componentes
- .necessidade de assessoria externa para operar o pacote(nível de dependência)
- .conhecimento dos princípios de simulação(embora não seja essencial, contribui para um maior aproveitamento da ferramenta

VI. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

No presente trabalho procurou-se dar uma abordagem global dos benefícios advindos do emprego da simulação de processos químicos e nas características dos principais tipos de simuladores incluindo aqueles desenvolvidos para o setor de celulose e papel.

No País, na área de celulose e papel (e também de processamento químico) ainda é bastante pequena a utilização desta ferramenta para auxiliar a análise de processo, o projeto de instalações ou o desenvolvimento de novas tecnologias. O emprego de serviços de bureau de programas estrangeiros, sem acesso ao programa fonte, embora útil para o primeiro contato, traz apenas os benefícios imediatos e não todos os esperados.

Existe por outro lado, uma necessidade reprimida, mas latente, por parte dos técnicos das nossas indústrias, nos seus diversos segmentos, em conhecer mais profundamente o processo (interrelacionamento entre operações e áreas de produção) no sentido de provocar melhorias operacionais e redução de custos. Este cenário é propício para a aplicação de simulação.

É necessário intensificar a disseminação dos potenciais e de aplicações reais da simulação junto a gerentes de departamentos de produção e de projetos.

Há falta de pessoal devidamente qualificado, na quantidade requerida, tanto na indústria como, principalmente, em universidades e centros de pesquisa, com capacitação de utilizar a simulação no seu potencial mais abrangente.

Para a aplicação imediata não é necessário um conhecimento detalhado de um processo. Porém, diferentemente de outros aplicativos, um simulador de processos químicos é agregador de conhecimento tecnológico. Portanto a utilização do simulador sem acesso ao programa fonte e sem possibilidade de modificação de seus modelos matemáticos do processo não traz ao usuário todos os benefícios esperados.

Se no exterior alerta-se contra a sua utilização como "caixa-preta" (31) e procura-se sempre a clara compreensão e domínio do senso físico, da formulação dos modelos, de métodos numéricos e conhecimento qualitativo, tanto mais isto é importante para o Brasil que deve buscar capacitação tecnológica.

VII. BIBLIOGRAFIA

01. STANLEY, J. P. - Computers in Chemical Engineering Advances and Accomplishments - AIChE Symposium Series 79(235): 39-45, 1983.
02. DEPEYRE, D. - Le Défi de L'informatique Chimique - Inf. Chimie (252/253): 121-124, Ago/Sep, 1984.
03. HERSCHMILLER, D. W. et alii - Process Simulation in Engineering - Pulp & Paper Canada 84(12): 89-94, 1983.
04. EDGAR, T.F. et alii - User of Computers in Chemical Engineering Education - Chemical Engineering Progress, p.9-13, Sep, 1985.
05. DONALDSON, R.W. & LEESLEY, M. - Database Management: The Key of Efficient Process Plant CAD - Chem. Eng. Progress, p.14-17, Sep., 1985.
06. CANFIELD, F. B. - Computer-Aided Engineering in the Process Industry - Chem. Engineering Progress, p.31-34, Sep., 1985.
07. BLAHA, M. R. et alii - Database Management Systems for the Process Engineer - Chem. Engineering Progress, p.45-49, Sep., 1985.
08. ALCOCK, P. - Dynamic Simulation as an Engineering Support Tool - Process Engineering, p.40-43, Sep., 1985.
09. HAGGIN, J. - Process Control no Longer Separate from Simulation, Design - Chem & Eng., p.7-16, Apr., 2, 1984.
10. WESTERBERG, A. E. et alii - Process Flowsheeting - New York, Cambridge Univ. Press, 1979, 251p..
11. McCONNELL, R. R. - Introduction to Process Simulation - Atlanta, TAPPI, 1985, 166p.
12. LEESLEY, M.E. - Computer-Aided Process Plant Design - Houston, Gulf Publ., 1982, 1378p.
13. FAIR, J. R. - Advanced Process Engineering - AIChE Monograph Series 76(13), New York, American Inst. Chem. Engineers, 1980, 41p.
14. FINLAYSON, B. A. - Nonlinear Analysis in Chemical Engineering - McGraw Hill Int. Book Co., 1980.
15. MAH, R.S.H. & SEIDER, W.D. - Foundations of Computer - Aided Chemical Process Design - New York, Engineering Foundation, 1981, 2v.

16. CHEN, H.S. & STADTHER, M.A. - A Simultaneous-Modular Approach to Process Flowsheeting and Optimization - AIChE J. 31(11): 1843-1881, Nov, 1985.
17. CLARK, S.M. & REKLAITIS, G.V. - Investigation of Strategies for Executing Sequential Modular Simulations, Comput.& Chem. Eng. 8(3/4): 205-18, 1984.
18. BIEGLER, L. T. - Improved Infeasible Path Optimization for Sequential Modular Simulators. Part I & II - Comput.& Chem. Eng. 9(3): 245-67, 1985.
19. BALDUS, R. F. e EDWARDS, L. L. - Multiple Effect Evaporation Systems for Kraft Black Liquor - TAPPI 61(3) March, 1978.
20. NORBERG, S.E. et alii - Material Balances for Brown Stock Washing, Screening and Oxygen Bleaching in Closed Mill Systems - TAPPI 59(9), Sep, 1976.
21. VENKATESH, V. e EDWARDS, L. L. - Optimum Design of Mechanical Pulp Screen Rooms - Norsk Skogindustri, p.258-263, Sep, 1976.
22. AHLENIUS, L. A. G. et alii - Process Engineering : What Role for Microcomputers? - TAPPI J. 68(10): 74-78, 1985.
23. ASSUMPCÃO, R.M.V. et alii - Influência de Alguns Parâmetros de Processo no Consumo de Energia - O Papel, Nov., 1981.
24. LIMA, A.F., YOJO, L.M. e CAHEN, R. - Influência da Relação Licor-Madeira no Consumo de Energia na Polpação e nas Características da Pasta Celulósica - XV Cong. Anual da ABCP, p.171-187, SP, Nov., 1982.
25. SHEWCHUK, C. F. - Process Simulation Technology for the Pulp and Paper Industry - Pulp & Paper Canada 83(12): 60-64, 1982.
26. WASIK, L. S. e SHEWCHUK, C.F. - Integration of Process Simulation and Computer-Aided Design - Pulp & Paper Canada 86(8): 64-69, 1985.
27. EVANS, L. B. - Advances in Process Flowsheeting Systems in Foundations of Computer-Aided Chemical Process Design Vol. 1, Engineering Foundation. New York, NY, 1981.
28. EVANS, L.B. et alii - ASPEN: An Advanced System for Process Engineering, 3: 319-327, 1979.

29. McCUBBIN, N. - Process Engineering with a Microcomputer, Pulp & Paper Canada 85(8): 88-90, 1984.
30. LEESLEY, M. E. & POLLICOFF, H. P. - Evaluating Process Simulation Software - in Leesley (ed.) Computer Aided Process Plant Design, p.131. Houston, Gulf Publ., 1982.
31. SARGENT, R.W.H. - Computers in Chemical Engineering Challenges and Constraints - AIChE Symp. Series 79(235): 57-64, 1983.