



08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

SISTEMA CONSULTÓRIO PARA ESCOLHA DE FILTRO IDEAL NA INDÚSTRIA QUÍMICA (SCEF)

Renan Zuba Parrela¹ – renan_zuba@hotmail.com

Shara Katerine Moreira Jorge² – sharaengquim@hotmail.com

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC – Santa Catarina, SC, Brazil

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ – Rio de Janeiro, RJ, Brazil

Resumo. *O foco de estudantes e pesquisadores de filtração não está na seleção dos equipamentos adequados para o processo, mas no estudo de parâmetros intrínsecos da torta formada durante os ensaios de filtração para posterior dimensionamento do filtro. Essa seleção dos utensílios adequados é um domínio de praticantes de filtração, especialistas que realizam experimentos exaustivos e que, por conseguinte, possuem conhecimento heurístico para escolhas. Este trabalho delineou a confecção de protótipo de um sistema baseado em conhecimento para seleção do filtro ideal (SCEF) baseando-se em certas abstrações. O protótipo não substitui uma análise minuciosa de filtração, mas pode ser utilizado em âmbito acadêmico, para fins didáticos, e por engenheiros químicos de pouca experiência como uma estimativa inicial na seleção do filtro ideal.*

Keywords: *Sistema, Especialista, Filtro, Filtração.*

1. INTRODUÇÃO

A separação sólido-líquido é um problema antigo em processos químicos e físicos na indústria global. Entre os processos de separação sólido-líquido existentes, inclui-se a filtração, cujo princípio se baseia no escoamento de uma suspensão aquosa em direção a meio filtrante, este que retém a fase sólida em sua superfície, enquanto o filtrado (a fase líquida quase isenta de sólidos), escoar através de seus orifícios (meio poroso). Durante ensaios de filtração, a camada de sólidos vai aumentando sua espessura e, conseqüentemente, aumenta a pressão dos sólidos, melhorando ainda mais a eficiência de retenção das partículas. Segundo Cheremisinoff (1995), existem vários propósitos para separar sólidos de líquidos: Recuperação de produtos valiosos, remoção de contaminantes indesejáveis que possam danificar equipamentos do processo, purificação de produtos, remoção de poluentes prejudiciais etc.

Para uma operação de filtração ser bem-sucedida, deve haver uma seleção prévia dos utensílios mais adequados a serem utilizados. Devem ser selecionados o filtro, o meio filtrante, a solução de pré-tratamento ideais etc.. Esses serviços são realizados por “*Filtration practitioners*”, que são especialistas que obtiveram conhecimento através de experiências práticas em filtração, possuem um conhecimento heurístico, e podem, por conseguinte, determinar os equipamentos mais adequados em uma aplicação específica. Entretanto, para um novato na área de filtração, esta tarefa de seleção não é tão trivial, já que o foco de estudantes e/ou pesquisadores de filtração é, usualmente, no estudo da formação, compressibilidade e lavagem do bolo de sólidos acumulados sobre a superfície do meio filtrante durante os ensaios de filtração.

O objetivo deste trabalho foi a criação de um protótipo de sistema especialista capaz de determinar automaticamente o filtro ideal para condições industriais específicas. O protótipo poderá ser utilizado como uma ferramenta de apoio na tomada de decisões de engenheiros químicos iniciantes bem como ser aplicada/apresentada em âmbito acadêmico para fins didáticos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Filtros

Filtros são equipamentos que utilizam o princípio da filtração em sua operação. São confeccionados de modo a maximizar a área de filtração. Diferem-se pelo modo de operação, eficiência em lavagem, força propulsora de operação etc. Alguns atuam com regime em batelada, em que a filtração deve ser interrompida para retirada da torta, outros operam de modo contínuo, em que os ciclos são realizados ininterruptamente. Tanto os filtros em batelada quanto os filtros contínuos possuem uma larga proporção de aplicação mundial na separação de sólidos e líquidos. Filtros podem operar com diferentes forças propulsoras, que são responsáveis pelo deslocamento da suspensão através do filtro, que podem ser: Gravitacional, centrífuga e de pressão, provinda de bombas centrífugas ou de sucção.

O protótipo foi criado incluindo alguns dos filtros mais empregados no mercado brasileiro. Os filtros que essa versão do protótipo inclui são: Filtro prensa de placas e quadros, filtro de lâminas e/ou discos, filtro contínuo de tambor rotativo a vácuo e o filtro prensa de cinto vertical.

A estrutura física de um filtro prensa de placas e quadros consiste em uma câmara com placas paralelas e com uma lona em cada lado da placa (Figura 1). O funcionamento do filtro se baseia na alimentação da suspensão no centro da placa (*filter plate*) impulsionada por uma bomba. A suspensão escoar entre as placas e é “comprimada” por elas. Os sólidos são retidos na superfície do meio filtrante (*filter cloth*) e acumulados formando uma torta entre essas placas (*filter cake*), enquanto o filtrado (*clear filtrate*) passa por um compartimento posicionado nos cantos inferior direito e superior esquerdo de cada uma delas. Depois de um tempo predeterminado, as placas se separam, o sólido é removido, elas são reapertadas, e o ciclo de filtração é repetido (Verma, 2009).

Filtros de folhas e/ou lâminas são constituídos de lâminas múltiplas dispostas lado a lado imersas na mistura heterogênea a ser filtrada (Figura 1). Assim como o filtro prensa de placas e quadros, seu modo de operação é em batelada. Destaca-se pelo seu método de lavagem (por deslocamento), o qual é considerado ideal. A água de lavagem percorre o mesmo caminho do filtrado e consegue eliminar 90% do filtrado em condições favoráveis.

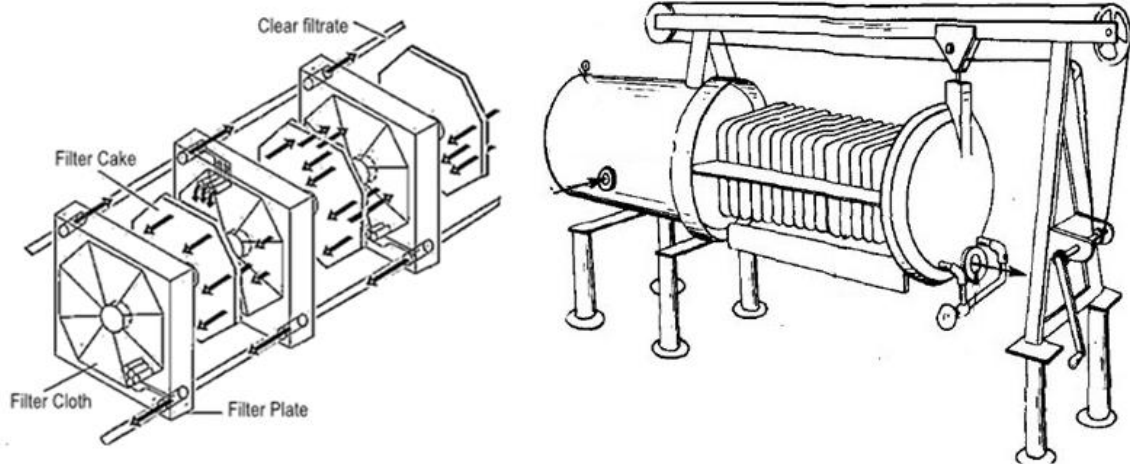


Figura 1: Modelos construtivos dos filtros do tipo prensa de placas e quadros (a esquerda) e do tipo de folhas e/ou lâminas (a direita) (Verma, S., 2009).

Em sua operação, o filtro contínuo rotativo a vácuo é submerso parcialmente em um tanque contendo a mistura heterogênea a ser filtrada (Figura 2). A água da mistura escoar para dentro do filtro (uma zona de menor pressão) através de uma bomba a vácuo. Um receptor a vácuo recolhe o filtrado que é bombeado para fora. O filtro, em uma rotação contínua, faz com que os sólidos retidos sejam lavados e retirados (raspados por uma faca) através de um painel de tela automaticamente (Shao, 2015).

Os filtros prensa de cinto vertical são filtros contínuos que possuem correias e/ou cintos que prensam a suspensão aquosa (Figura 2). O filtrado é percolado por gravidade e os sólidos são raspados e dispensados em um recipiente. Um filtrado completamente clarificado não pode ser obtido utilizando esse tipo de filtro (somente em raras circunstâncias), por tal fato, quase sempre são necessários sistemas de pós-tratamento. É normalmente empregado em filtrações rápidas, para que a fase sólida se acumule rapidamente na superfície do meio filtrante e aumentar a eficiência. São considerados simples, confiáveis, com pouco ruído, de fácil manutenção e longa vida útil.

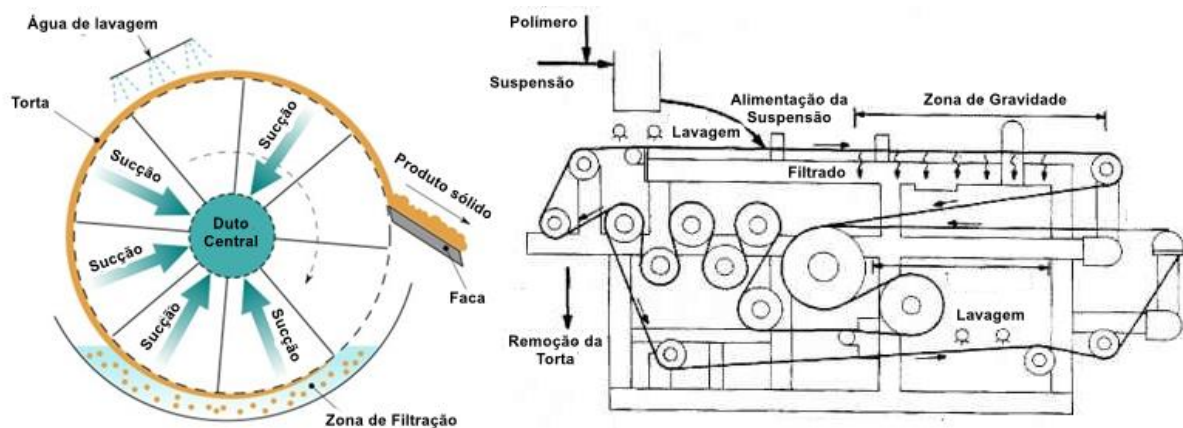


Figura 2: Modelos construtivos dos filtros contínuos de tambor rotativo a vácuo, a esquerda, e prensa de cinto vertical, a direita (Torr Engenharia, 2011, Ashbrook Corporation apud Climate Policy Watcher, 2018, modificados).

2.2. Sistemas especialistas

Sistemas especialistas (SE) são sistemas que utilizam conhecimento para resolução de problemas. É basicamente um programa de computador que emula o comportamento de especialistas humanos dentro de um domínio específico. É um software que automatiza o conhecimento. Por possuir dados advindos de especialistas, ele consegue fornecer resultados satisfatórios em um curto intervalo de tempo (Zimmermann, M. A., 2003).

Uma equipe de desenvolvimento de um sistema especialista é composta por: Engenheiro de conhecimento, especialista humano, programador e gestor do projeto. O engenheiro de conhecimento é responsável por extrair o conhecimento do especialista por meio de técnicas. Essas informações são transmitidas ao programador, que converte todo o conhecimento em linguagem computacional, confeccionando, finalmente, o *software*. Em algumas ocasiões, uma mesma pessoa pode ocupar mais de um cargo nesse grupo, por exemplo, o engenheiro de conhecimento poderia ser também o gestor, programador e/ou até o próprio especialista.

Conforme Silva (1998), a construção completa de um sistema especialista acontece após cumprimento das seguintes etapas:

- Estudo de viabilidade: Onde verifica-se a área de aplicação (se o problema realmente existe, se é viável aplicar a técnica etc.) e a disponibilidade de recursos (se existe disponibilidade de tempo, do especialista, se há apoio gerencial etc.)
- Protótipo rápido: Fase de desenvolvimento de um sistema rápido para demonstrar ideias. A metodologia para confecção do protótipo concerne as seguintes partes:
 - Aquisição do conhecimento: O engenheiro de conhecimento contata o especialista a fim de obter o conhecimento por meio de questionários, etc.
 - Representação do conhecimento: Etapa na qual é escolhida a (as) forma (as) de representação (ões) de conhecimento. Baseado em regras, redes semânticas ou orientação a objetos.
 - Implementação e/ou codificação do conhecimento: O programador redige a forma de representação do conhecimento escolhida em linguagem de programação.
- Sistema refinado: Verificação interna realizada pelo Engenheiro de Conhecimento e o especialista humano.
- Teste de campo: O sistema é testado por usuários selecionados (um especialista para validar a base de conhecimento e um usuário não-especialista para validar a interface)
- Sistema comercial: Já validado e testado,
- Manutenção ou evolução: Corrigir problemas e melhorar capacidades (sistemas especialistas possuem a vantagem de facilidade em incrementação).

3. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo foi denominado “Sistema Consultório para Escolha do Filtro Ideal na Indústria Química” (SCEF). O desenvolvimento do mesmo foi baseado na metodologia apresentada na Sessão 2.2. Porém, só foram realizadas as três primeiras etapas: Estudo de viabilidade, desenvolvimento do protótipo rápido e sistema refinado, pois este trabalho se trata apenas da primeira versão do sistema consultório.

3.1. Estudo de viabilidade

Nessa etapa é necessário considerar algumas indagações. Definir se uma aplicação é viável no universo de sistemas especialistas depende de duas categorias: Adequação da área e disponibilidade de recursos. Adequar a área significa entender o porquê de se estar fazendo o protótipo. Consiste em responder perguntas como: O problema realmente existe? O uso da técnica é aplicável e justificável? O problema é puramente heurístico?

No contexto da escolha de um filtro, somente especialistas são capazes de apontar o filtro ideal. Como mencionado na justificativa, uma ferramenta de apoio como essa poderia ajudar engenheiros que atuam na área bem como ser aplicada/apresentada em âmbito acadêmico. Como o problema pode ser tratado como heurístico, o uso de Sistemas Especialistas se enquadra perfeitamente. Quanto aos recursos disponíveis, os integrantes do trabalho possuíam certa sinergia, logo, não houve problemas com disponibilidade de tempo ou de quaisquer membro da equipe.

3.2. Desenvolvimento do protótipo rápido

A etapa de desenvolvimento do protótipo foi subdividida em três partes: Aquisição do conhecimento, representação do conhecimento e implementação e/ou codificação do conhecimento.

3.2.1. Aquisição do conhecimento

Esta etapa se baseia no processo de extração do conhecimento. Quando o Engenheiro de conhecimento usa estratégias para contatar o especialista. Porém, neste trabalho a aquisição foi realizada através de consultas na literatura disponível, então não houve necessidade de aplicação das técnicas de engenheiro de conhecimento. Foi tentado um contato direto com representantes industriais, porém, não obteve-se êxito.

Após consulta em bibliografia especializada (Durand A. A. et al., 2016, Walas, S. M., 1990, Svarovsky, L., 2000, Geankoplis, C. J., 1993), e definição das saídas (os tipos de filtros apresentados na sessão 2.1.), foram estudadas diferenças nos modelos construtivos dos filtros e definidas as melhores entradas para a efetiva determinação do filtro. Foram criadas 4 perguntas para obtenção dos fatos fornecidos pelo usuário. Esses fatos são mantidos na memória de trabalho da máquina e são comparados com as regras provenientes da memória de produção. As perguntas e suas respectivas opções de respostas seguem abaixo.

- Pergunta 1 – Qual fase possui valor agregado?
 - 1 – Sólida
 - 2 – Líquida
 - 3 – Ambas
- Pergunta 2 – A velocidade de filtração (obtida em laboratório) é considerada...
 - 1 – Rápida (0,1 - 10 cm/s)
 - 2 – Média (0,1 - 10 cm/min)
 - 3 – Lenta (0,1 - 10 cm/hr)
- Pergunta 3 – A viscosidade da fase líquida está em qual faixa?
 - 1 – Maior ou igual a 100 cP
 - 2 – Menor que 100 cP
- Pergunta 4 – A eficiência de lavagem do filtro deve ser...
 - 1 – A melhor possível

2 – Indiferente

A determinação do filtro decorre da seguinte maneira: Cada tipo de filtro possui preferências de respostas específicas, caso o usuário responde todas as perguntas e o conjunto de respostas final desarmonize com as opções ótimas de todos os filtros, o SE indicará aquele com as características mais próximas das respostas. Foi criada uma base de dados de forma que todas as respostas do usuário indicassem algum filtro.

A priori, o SCEF basicamente acolhe as respostas providas do usuário e as anexam em uma instância chamada “Filtro modelo”. A posteriori, a instância é comparada com os filtros contidos na base de dados através de uma regra SE-ENTÃO. O filtro que possuir as características apontadas pelo usuário é efetivamente escolhido e, como consequência, determina-se também o texto de explicação relacionado a este filtro que é exteriorizado ao usuário. Nessa versão do protótipo existem 36 possibilidades de respostas.

3.2.2. Representação do conhecimento

O conhecimento foi representado de duas maneiras: Orientação a objetos e por meio de regras SE-ENTÃO.

O paradigma de orientação a objetos é fundamentado na composição e interação de entidades chamadas de objetos que são literalmente baseados nos objetos presentes no mundo (ou apenas naqueles perceptíveis pelos humanos). Os objetos fazem parte de uma classe ou subclasse, as quais são abstrações observadas por pontos de vista específicos (atributos, características, propriedades etc.). Quando especificamos os atributos, estamos atribuindo informações a um objeto. Neste trabalho, podemos associar esses objetos aos tipos filtros listados e, por conseguinte, criar atributos para os respectivos filtros.

No SCEF foram criadas duas subclasses da classe *User* (Figura 3), já contida na *Shell* empregada. As subclasses são: *Filtros* e *Interface*. A subclasse “filtros” contém todas as opções possíveis de combinações associadas aos tipos de filtros e o filtro modelo. A subclasse “*Interface*” é responsável pela interação com o usuário, coletando as respostas do mesmo, apresentando-lhe as perguntas e o texto de entrada.

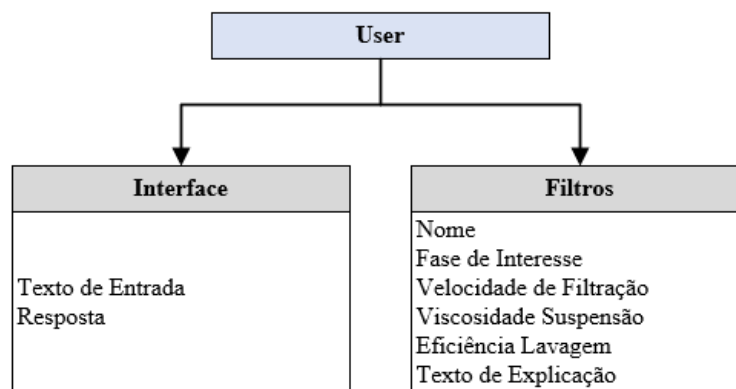


Figura 3: Subclasses empregadas no protótipo.

Em todo protótipo foram utilizadas apenas quatro regras SE-ENTÃO. Elas se acionavam de acordo com uma regra de controle. A primeira regra a ser acionada era a regra de inicialização. Essa regra apresenta o texto de entrada ao usuário e obtêm as informações do mesmo. A segunda regra é a regra que compara o filtro modelo com os filtros da base de

dados e determina o filtro ideal e sua explicação. A terceira regra repete o código se o usuário desejar, ela reinicia ou desliga o SCEF. A quarta regra é a própria regra de controle.

3.3.3. Codificação/Implementação do conhecimento

O conhecimento foi implementado no Shell CLIPS, que é uma plataforma escrita em linguagem C que facilita a programação em LISP. O software é uma espécie de catalisador na escrita de sistemas especialistas: Já possui um mecanismo de inferência, utiliza o encadeamento direto, e fornece recursos de programação baseado em regras e orientação a objetos.

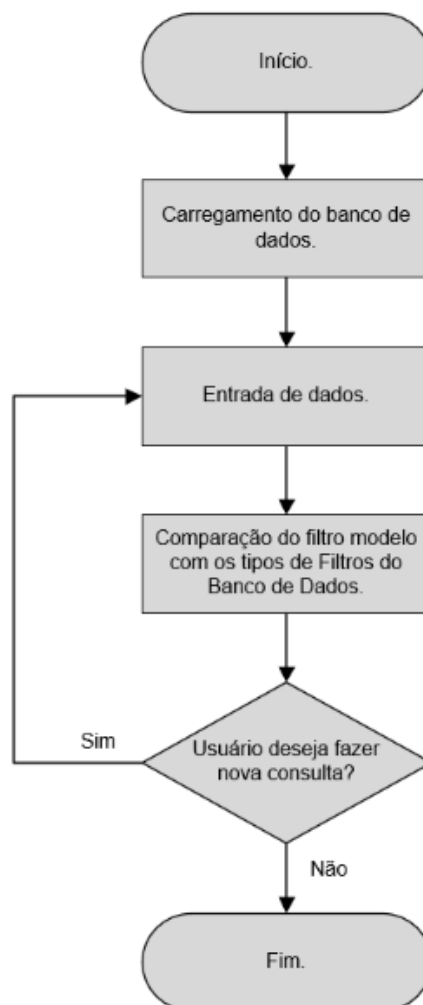


Figura 4: Fluxograma do processamento do protótipo

Na figura 4, apresenta-se o fluxograma de processamento do protótipo SCEF. Ao rodar o arquivo *batch*, o SCEF carrega todas instâncias presentes no banco de dados (os tipos de filtros). Posteriormente, apresenta ao usuário o texto de entrada e realiza os questionamentos. Como mencionado na sessão 3.2.1., as respostas são vinculadas ao filtro modelo e depois comparadas com os filtros presentes no banco de dados. Após indicar o filtro correto, é indagado ao usuário se ele deseja realizar uma nova consulta, se sim, o texto de

entrada e os questionamentos são realizados novamente, se não, o SCEF cancela seu funcionamento.

3.3. Sistema refinado

Nesta etapa, todas as possibilidades de resposta foram testadas pelo autor, indicando um funcionamento regular do sistema especialista. Os erros de sintaxe e semântica eram percebidos quando aconteciam bugs após realização de testes no protótipo ao longo da implementação do mesmo. Portanto, quando o protótipo foi concluído todos os erros foram corrigidos. É conspícuo no apêndice A um exemplo de funcionamento do protótipo.

4. CONCLUSÕES

O protótipo está funcionando conforme esperado e indica ao usuário, de maneira rápida, o filtro mais adequado (baseado nos aspectos essenciais concentrados) para determinada aplicação. É necessário ressaltar que o SCEF não substitui uma análise técnica minuciosa de filtração, visto que o desempenho dos filtros depende do seu respectivo fabricante, mas pode servir como um guia/chute inicial para estudantes ou engenheiros iniciantes na escolha do filtro.

Como perspectivas futuras, pretende-se ampliar esta versão, validando formalmente com especialistas e implementando as seguintes ideias:

- Adição de mais entradas como, por exemplo: Taxa de produção de filtrados desejada no processo e/ou taxa de sólidos recolhidos por unidade de tempo,
- Edição entradas existentes: Permitir ao usuário entrar com valores precisos de viscosidade, concentração de sólidos e velocidade de filtração.
- Adição de novas saídas: Adicionar mais filtros na base de dados (isso, por consequência, faria aumentar também o número de entradas de acordo com os requisitos dos novos filtros).
- Utilização da lógica *Fuzzy* para seleção de filtro ótimo, já que em algumas situações é possível utilizar mais de um. A função de pertinência, empregada na lógica, poderia mapear os atributos respondidos pelo usuário e associar a graus de pertinência pertencente aos filtros.
- Utilizar interface *html*.

REFERÊNCIAS

- Cheremisinoff, P. N. (1995), “*Process engineering handbook series: Solids/Liquids Separation*”, Technomic Publishing Company.
- Climate Policy Watcher (2018), “*Belt Filter Press*”, disponível em: <https://www.climate-policy-watcher.org/wastewater-sludge/belt-filter-press.html>.
- Durand, A. A., Miguel, J. A., Barroso, G. G. D., Garcia, M. A. L., Angeles, J. P. S. (2006), “*Heuristics rules for process equipment. Chemical Engineering*”, New York, Mcgraw Hill Incorporated then Chemical Week Publishing Llc. 113. 44-47.
- Geankoplis, C. J. (1993), “*Transport Processes and Unit Operations*”, 3. ed. Prentice-Hall Internacional, Inc.
- Shao, P., Darcovich K., McCracken T., Ordorica-Garcia G., Reith M., O’Leary S. (2015), “*Algae-dewatering using rotary drum vacuum filters: Process modeling, simulation and techno-economics*”, Chemical Engineering Journal.
- Silva, J. C. (1998), “*Expert System Prototype for Hydraulic System Design Focusing on Concurrent Engineering Aspects*”, Tese de Doutorado em Eng. Mecânica, UFSC.
- Svarovsky, L.. Solid-liquid Separation (2000), Butterworth-Heinemann, Oxford, 4ª ed.

- Verma S. (2009), “An evaluation of a pilot-scale plate-and-frame filter press for dewatering fine coal refuse and silica sand”. Tese de mestrado.
- Walas, S. M. (1990), “Chemical Process Equipment Selection and Design”, Boston Butterworth-Heinemann.
- Zimmermann, M. A. (2003), “Sistema Especialista Protótipo para Auxílio na Seleção de Bombas Hidrostáticas”, Dissertação de Mestrado em Eng. Mecânica, UFSC.

APÊNDICE A

É exposto nas Figuras 5 e 6 um exemplo de funcionamento do protótipo, no qual o usuário respondeu as perguntas utilizando as seguintes respostas: “2, 3, 1, h e 2”. Como consequência, o sistema selecionou o filtro prensa de placas e quadros e explicou o porquê dessa escolha.

```
.....
                          Sistema Consultório para
                          Escolha do Filtro Ideal na Industria Química

                          Renan Zuba Parrela - Renan_zuba@hotmail.com
                          Disciplina: Sistemas Especialistas Aplicados a Engenharia
.....

Qual a fase possui valor agregado no processo?

1 - Sólida
2 - Líquida
3 - Ambas possuem
h - Ajuda
R: 2

.....

A velocidade de filtração (obtida em laboratório) é...

1 - Rápida (0,1 - 10 cm/s)
2 - Média (0,1 - 10 cm/min)
3 - Lenta (0,1 - 10 cm/hr)
h - Ajuda
R: 3

.....

A viscosidade da fase líquida está em qual faixa?

1 - Maior ou igual a 100 cP
2 - Menor que 100 cP
h - Ajuda
R: 1

.....

A eficiência de lavagem do filtro, deve ser...

1 - A melhor possível
2 - Indiferente
h - Ajuda
R: h
.....
```

Figura 5: Exemplo de funcionamento do protótipo, parte 1.

Caso o usuário não responda nenhuma das opções presentes, a pergunta é refeita. O protótipo também possui uma opção de ajuda em cada pergunta, para acessá-la, basta digitar

“h” como resposta (notório no exemplo das Figuras 5 e 6). A ajuda basicamente mostra a importância daquela pergunta no contexto de escolha de filtros.

```
.....  
A lavagem da torta é necessária em muitos processos químicos e  
farmacêuticos. Ela promove a produção de uma torta limpa, isenta do  
mother liquor (fase líquida que resta de um processo de cristalização  
de uma solução) para posterior secagem (se a fase sólida possuir valor  
agregado) ou eliminação. Os motivos para limpeza dessa torta incluem  
realização de uma troca de solventes, dissolução de componentes  
solúveis e deslocamento de contaminantes insolúveis.  
.....
```

A eficiência de lavagem do filtro, deve ser...

```
1 - A melhor possível  
2 - Indiferente  
R: 2
```

```
.....  
Filtro Prensa de Placas e Quadros  
.....
```

É constituído por uma série de placas que são apertadas firmemente uma das outras. Utilizado principalmente na clarificação de suspensões aquosas. Suas vantagens incluem uma construção simples, robusta e econômica. Entre suas desvantagens, estão o custo de mão-de-obra elevado e o regime de operação em batelada. Trabalha sob pressões de até 50 bar, por isso processa bem misturas heterogêneas com a fase líquida viscosa. O uso de auxiliares de filtração melhora as condições de lavagem, mas não resolve completamente o problema. Normalmente é empregado em filtrações lentas (nas quais o bolo de sólidos acumulados cresce entre 0,1 a 10 cm por hr) devido ao seu processamento lento.

```
.....  
FIM DA CONSULTA  
Deseja fazer nova consulta?  
1 - Sim  
2 - Não  
R: 2  
CLIPS>
```

Figura 6: Exemplo de funcionamento do protótipo, parte 2.

APÊNDICE B

ADVISORY SYSTEM FOR CHOICE OF IDEAL FILTER IN THE CHEMICAL INDUSTRY (SCEF)

Abstract. *The focus of students and researchers of filtration is not on the selection of suitable equipment for the process, but on the study of intrinsic parameters of the cake formed during the filtration tests for subsequent design of the filter. This selection of suitable tools is a field of filtration practitioners, specialists who perform exhaustive experiments and who therefore have heuristic knowledge for choices. This work outlined the prototype making of a knowledge-based system for selecting the ideal filter (SCEF) based on certain abstractions. The prototype is not a substitute for a filtering analysis, but it can be used academically, for teaching purposes, and by chemical engineers of little experience as an initial kick in selecting the ideal filter.*

Keywords: *knowledge-based, system, filter, filtration.*