

# AS BASES DA ENGENHARIA DE PROCESSOS INORGÂNICOS NO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**Abraham Zakon** - zakon@eq.ufrj.br

Prof. Adjunto, Eng. Químico, Dr. Eng.

Laboratório de Compostos Cerâmicos, Departamento de Processos Inorgânicos,  
Escola de Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
21949-900 Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ

Telefones: 0XX-21-590-3192 Ramais 129 e 118 Fax: 590-4991

**Resumo.** *A Engenharia de Processos Inorgânicos trata da extração, transformação e purificação de substâncias e elementos químicos a partir de recursos naturais; síntese ou preparação de compostos e compósitos, em níveis laboratorial e industrial; emprego de beneficiamentos/ tratamentos físicos e químicos de sólidos, líquidos e gases, baseados em princípios da Termodinâmica, Cristalquímica, Metalurgia, Cerâmica, Hidroquímica, Eletroquímica, Criogenia e das Químicas Geral, Inorgânica e Analítica; processos industriais consagrados diretos e indiretos (criados apenas com base nos recursos das Químicas Geral, Inorgânica, Mineral e Analítica). A simulação estequiométrica pode ser usada na engenharia de processo resultante e na engenharia de processos químicos (pesquisa e projeto por computador).*

**Palavras-chave:** Engenharia Química, Tecnologia Inorgânica, Engenharia de Processos

## 1. OBJETIVOS E RECURSOS DA ENGENHARIA DE PROCESSOS INORGÂNICOS

A lógica dos processos químicos industriais inorgânicos relaciona-se na presente abordagem com as rotas de fabricação utilizadas em segmentos tecnológicos consagrados, partindo das analogias entre os tratamentos de minérios para a produção de materiais cerâmicos e metalúrgicos (Zakon, 1992). Uma engenharia química de processo completa incorpora todos os aspectos do processo fabril – com a identificação de tudo que se consome, manipula e produz (nas escalas laboratorial, piloto e industrial) – e o sistema de controle químico da qualidade, produtos e procedimentos. Cada aspecto delineado redundando numa lógica prática e/ou matemática. As tecnologias inorgânicas frequentemente envolvem-se com partículas sólidas, onde, além de mudanças de tamanho e composição química, ocorrem transformações do estado cristalino durante os processos físicos e químicos industriais. Mudanças operacionais na temperatura ou tempo de residência podem gerar produtos diferenciados para a mesma matéria-prima - p. ex.: cerâmicos obtidos das cinzas da incineração de lixo. Reduzir os estudos de quaisquer processos químicos a uma mera abordagem matemática sem amparo da vivência prática pode provocar bloqueios ou divergências em ciclos iterativos adotados em programas de simulação em computadores, e na capacidade decisória prática que um engenheiro pode adquirir ainda na universidade - e o que é pior, pode envolvê-lo em acidentes de trabalho, caso desconheça questões e nuances operacionais ou as características das substâncias

e fenômenos processados. Portanto, procedimentos operacionais são importantes. A presente concepção da “Engenharia de Processos Inorgânicos” distingue entre **geração de tecnologia**” (de caráter experimental obtida em laboratório de bancada ou piloto ou na planta), e **desenvolvimento de produtos e processos**” e privilegia inicialmente os trabalhos laboratoriais em escala de bancada para gerar fluxogramas de processo preliminares.

## 2. OS TRATAMENTOS DE SÓLIDOS, LÍQUIDOS E GASES

Os tratamentos expostos nas Fig. 1, 2, 3 e 4 referem-se às indústrias/unidades químicas inorgânicas clássicas/convencionais. *A criatividade ou rota tecnológica adotada será consequência da necessidade de otimizar processos, reciclar ou transformar rejeitos em sub-produtos e gerar tecnologias limpas.* Por vezes, uma etapa de tratamento químico da matéria prima gera a necessidade de se estabelecer novos conceitos e métodos analíticos para controlar as condições operacionais. É o caso da alcalinidade, que é importante para a operação de uma estação de tratamento de água, pois a ação dos coagulantes depende da mesma para garantir a reação adequada. Se for baixa, é possível aumentar a alcalinidade com adição de cal ou barrilha; se for excessiva interferirá na coagulação (Steel, 1960). Assim, gera-se a ampliação do fluxograma de processo original.

## 3. A QUESTÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Os processos inorgânicos industriais consomem matérias-primas em geral naturais e impuras, extraídas do solo, águas e ar atmosférico. Liberar ou concentrar elementos e compostos químicos exige daquelas a transformação de seu estado físico ou cristalquímico/de agregação, em temperaturas ambientes ou elevadas ou criogênicas e consumir fontes de energia térmica, elétrica e mecânica. Alguns produtos industrializados, como pós cerâmicos e metalúrgicos, servem, geralmente, de insumos para tecnologias avançadas. Um especialista da engenharia de processos químicos entende que uma “matéria-prima é o início do processo químico”. Para um químico industrial, “é o componente que decide se pode ou não ocorrer o processo químico”. A vivência industrial demonstra que se houver mudança de qualidade de uma ou mais matérias-primas, pode-se prejudicar um processo fabril de imediato. As matérias-primas podem condicionar a seleção, adoção ou formulação de uma rota tecnológica e da qualidade do produto e sua caracterização tecnológica (envolvendo análises químicas, determinações físicas e os ensaios de desempenho) - também aplicável a produtos, sub-produtos e rejeitos - é obrigatória. As **análises químicas** das matérias primas podem envolver diversas técnicas físico-químicas, bioquímicas, mineralógicas, ceramográficas, metalúrgicas para analisar num laboratório as composições e algumas propriedades químicas de fluidos e sólidos. *Tais técnicas dividem-se geralmente em vias secas e úmidas. Podem ambas ser clássicas ou instrumentais.* Os **ensaios de desempenho** são experimentos empíricos, científicos e tecnológicos que avaliam a utilidade, a adequação para um processo químico, e as propriedades de uma substância, material ou artefato - quando submetidos a condições padronizadas de interesse geral ou particular. Podem ser específicos para uma substância e para uma só aplicação. Se existirem interesses mútuos ou afinidades comerciais, podem ser copiados ou adaptados de um país para outro. Finalmente, podem ser criados ou definidos por qualquer interessado no seu uso, tanto produtor quanto cliente.

## 4. SIMULAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA

Num processo fabril de grande porte, pode ocorrer que a rota tecnológica esteja limitada aos equipamentos originais ou similares. A economia do processo pode ser melhorada em função da seleção de outras matérias primas além das previstas no projeto original. Em virtude de teores diversos dos elementos desejáveis nos minérios empregados

em processos industriais inorgânicos, por vezes, pode ser necessário o emprego de cálculos iterativos envolvendo as análises químicas das matérias primas componentes da alimentação, por exemplo, de um forno de clínquerização numa fábrica de cimento Portland, através de programas de microcomputador (Zakon e Fernandes, 1986). Recursos similares em BASIC/FORTRAN - desenvolvidos por Fernandes, Zakon, Guimarães e Santos (1990) - foram empregados para simular novas formulações de minérios para avaliar as misturas de calcários e xistos capazes de formar clínqueres para cimentos Portland, com vistas à execução de ensaios de queima e preparo de corpos de prova (Zakon, 1991). Verificou-se a possibilidade de aproveitamento dos rejeitos sólidos do Processo Petrosix para a fabricação de cimentos API classes C, G e H, destinados a poços de petróleo, onde, por exemplo, o carvão, a areia e a escória podem ser substituídos, respectivamente, pelo xisto natural ou retornado, siltito e xisto calcinado. Essa simulação estequiométrica baseou-se também em parâmetros empíricos cimenteiros sob a forma de grupos adimensionais, conhecidos como "módulos cimenteiros.

## 5. OS PROCESSOS DIRETOS E INDIRETOS

Um processo direto ocorre num só equipamento, pela combinação de suas matérias-primas e extração dos produtos de modo contínuo ou descontínuo. Quando é inviável termodinamicamente promover uma reação química, surge a necessidade de criar processos indiretos, alguns dos quais são exemplificados na Tabela 1.

## 6. REFERÊNCIAS

- STEEL, E.W. -Water Supply and Sewerage, 4th Ed. - McGraw-Hill Book Company Inc., Kogakusha Company, Ltd. Tokyo, Ltd., 1960.
- ZAKON, A. e FERNANDES, R.P. - Cálculo de farinhas de clínquer de cimento Portland comum usando microcomputador - *Cerâmica*, 32 (200):199-202, setembro de 1986.
- FERNANDES, R.P; ZAKON, A.; GUIMARÃES, M.B.; SANTOS, P.S. - Cálculos estequiométricos por microcomputador para cimentos Portland normalizados: Parte I - CPS-32, CPE-32, CPZ-32, AF-32 - *Cerâmica*, 36 (245):109-115, setembro/outubro 1990
- FERNANDES, R.P; ZAKON, A.; GUIMARÃES, M.B.; SANTOS, P.S. - Cálculos estequiométricos por microcomputador para cimentos Portland normalizados: Parte II - ARI, MRS-32, ARS-20 - *Cerâmica*, 36 (245):116-119, setembro/outubro 1990
- ZAKON, A. - Reciclagem de Rejeitos Sólidos Industriais: Desenvolvimento de Clínquer para Cimento Portland em Escala de Laboratório, a partir de Xisto Retornado do Processo Petrosix (Petrobrás), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Tese de Doutorado, Orientador: Prof. Dr. Pérsio de Souza Santos, 1991.
- ZAKON, A. - Analogias em tratamentos gerais de minérios para a produção de materiais cerâmicos e metalúrgicos: Parte I - Panorama das Tecnologias Inorgânicas - *Revista de Química Industrial*, 60 (687): 17-20, Jan./Mar. 1992
- ZAKON, A. - Analogias em tratamentos gerais de minérios para a produção de materiais cerâmicos e metalúrgicos: Parte II - Analogias em Processos e Equipamentos, -*Revista de Química Industrial*, 60 (688): 15-20, Abr./Junho. 1992

## Tabela 1 - Processos Industriais Químicos Inorgânicos Diretos e Indiretos

---

### **A - DIRETAS - UMA OU VÁRIAS MATÉRIAS-PRIMAS REAGEM NUM SÓ REATOR:**

#### **A.1 - Com suprimento externo de energia térmica para reações globais ou predominantemente endotérmicas**

Exemplos: produção dos aglomerantes minerais gesso, cal e cimento Portland.

#### **A.2 - Envolvendo reações químicas exotérmicas e auto-sustentadas;**

Exemplos: ustulação de minério sulfetado de zinco, obtenção do aço a partir de ferro gusa.

### **B - INDIRETAS - PODEM EMPREGAR REATORES DISTINTOS OU AGENTES DE CONVERSÃO**

#### **B.1 - Via separação de reações químicas em séries de reatores distintos**

Exemplo: separação das etapas de desidroxilação de argilas, calcinação do calcário e clínquerização em ciclones, pré-calcinador e forno de clínquer.

#### **B.2 - Via reações químicas parciais ou (incompletas) em locais distantes DS**

Exemplo: gaseificação de combustíveis para produzir monóxido de carbono destinado à queima em outros locais (é o caso do gás de rua).

#### **B.3 - Via emprego de um agente de conversão**

Exemplos: produção de barrilha pelo consumo de amônia para amoniar a salmoura que será carbonatada com  $\text{CO}_2$  para originar o bicarbonato de sódio e o cloreto de amônio que será destilado para liberar a amônia a reciclar; por meio de aquecimento o bicarbonato forma o carbonato e libera  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ;

produção de cloro por ação do mercúrio em salmoura submetida a ação eletroquímica formadora de amálgama, que pode ser decomposta para formar hidrogênio gasoso e liberar hidróxido de sódio e mercúrio.

#### **B.4 - Via decomposição e reprecipitação de cristais inorgânicos.**

Exemplo: Decomposição do calcário, seguida de hidratação da cal e carbonatação.

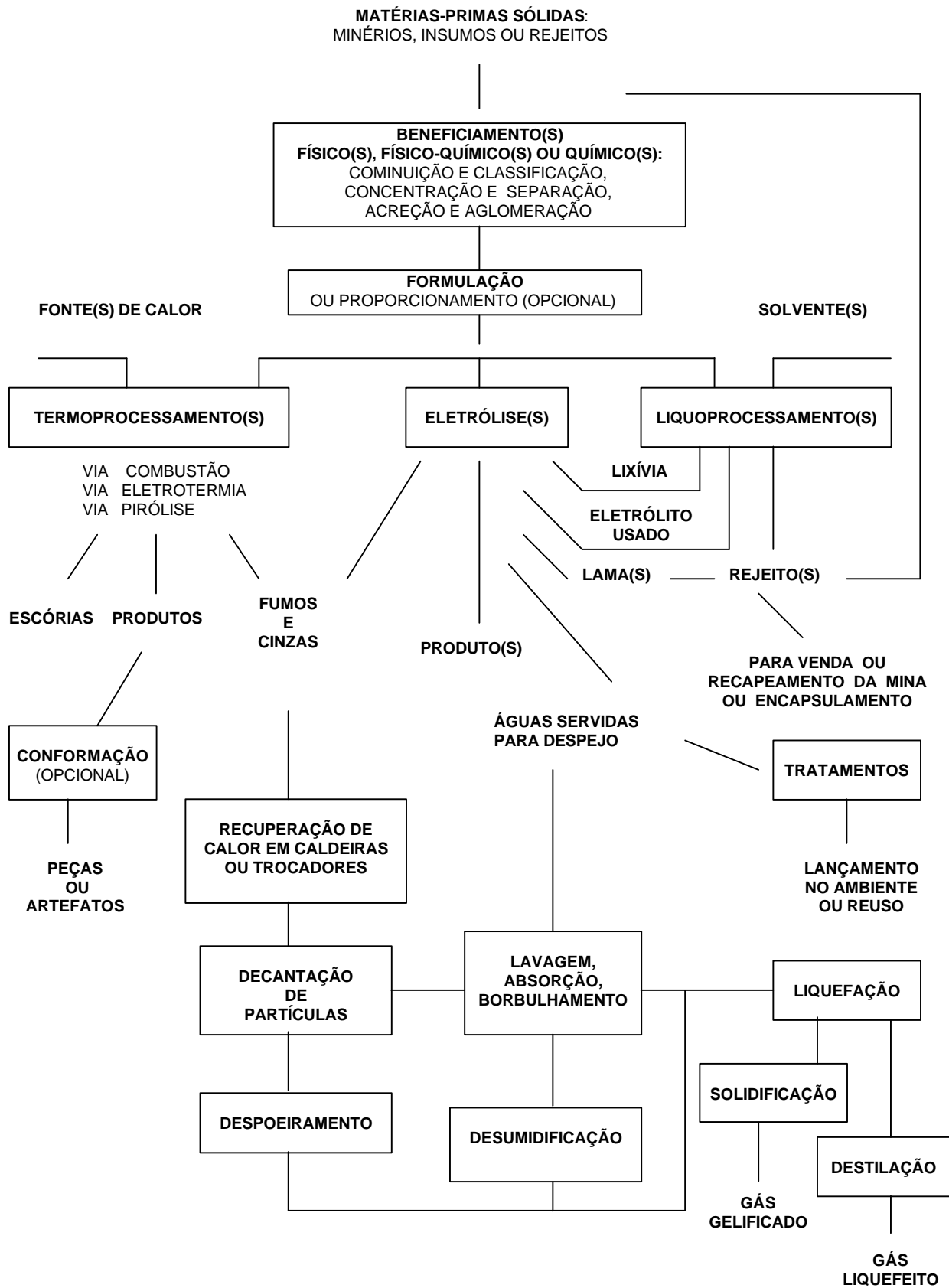
---

## **7. CONCLUSÕES**

1 - As bases da “Engenharia de Processos Inorgânicos” aqui expostas servem de orientação para a elaboração de rotas tecnológicas geradoras da “Engenharia de Processo” convencional e completam-se no âmbito da “Engenharia de Processos Químicos.

2 – Para as tecnologias inorgânicas envolvendo transformações de minérios pode ser necessário explorar as questões das simulações estequiométricas por microcomputador.

**Agradecimentos:** Prof. Pérsio de Souza Santos, do DEQ-EP-USP, Prof<sup>a</sup> Hedda Vargas Figueira, do DEMM-EE-UFRJ e CETEM; Prof. Bernardo José Guimarães Mascarenhas, da EQ-UFRJ, e o Eng. Químico Volney do Nascimento Ribeiro, da CIMENTO IRAJÁ S.A.



**Figura 1 - Tratamentos gerais de sólidos integrados aos de líquidos, lixívias, fumos e gases para fins industriais e ambientais (Zakon, 1992)**

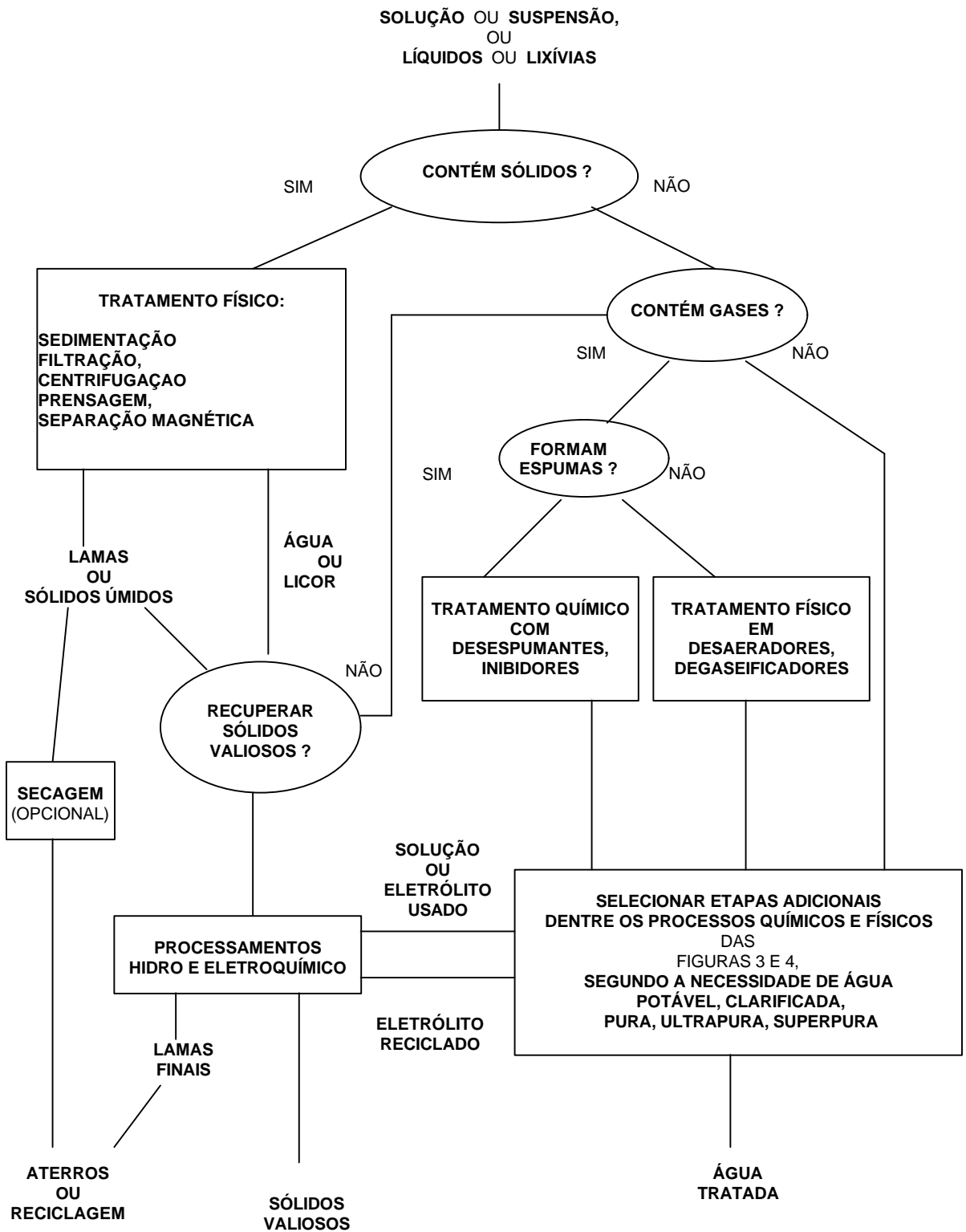


Figura 2 - Tratamentos gerais de líquidos, lixíviias e águas servidas (Zakon, 1992)



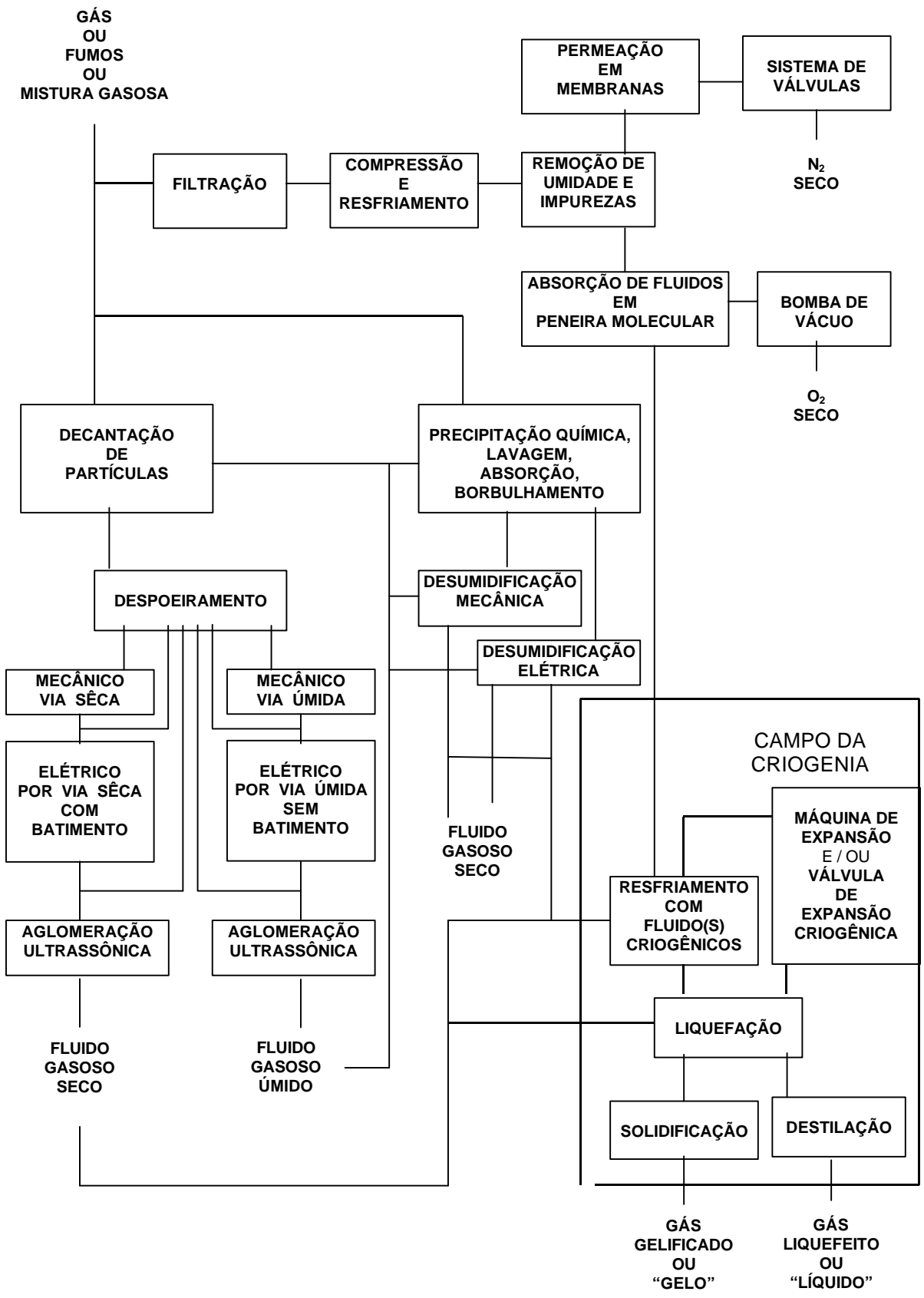


Figura 4 - Tratamento gerais para gases (Zakon, 1992)