Resumo

O objectivo principal deste trabalho consistiu na exploração teórica e experimental de uma unidade de cristalização industrial de açúcar.

As experiências foram efectuadas na RAR - Refinarias de Açúcar Reunidas, S.A., num cristalizador evaporativo industrial, a funcionar em regime semi-contínuo. O cristalizador foi equipado com sensores industriais normalmente utilizados neste tipo de processo os quais foram testados e calibrados para as condições normais de operação diária.

Neste trabalho desenvolveram-se três modelos matemáticos para descrever o funcionamento do cristalizador evaporativo, compostos por equações de balanços de massa e de energia; por equações semi empíricas contendo parâmetros determinados a partir de dados experimentais; e por uma equação de balanço populacional que permite, para além do mecanismo de crescimento dos cristais, a inclusão dos fenómenos mais importantes da cristalização industrial: nucleação, dispersão da velocidade de crescimento e aglomeração.

No primeiro modelo desenvolvido incluiu-se na sua equação de balanço populacional apenas o fenómeno de nucleação. Utilizou-se a técnica de transformação de momentos para a sua resolução e as propriedade médias da distribuição de tamanhos dos cristais foram facilmente obtidas a partir dos momentos da distribuição. O segundo modelo apresentado adicionou à equação de balanço de população o termo de dispersão da velocidade de crescimento. O tratamento matemático utilizado para a sua resolução foi idêntico ao do modelo anterior. Estes dois modelos revelaram um fraco desempenho, principalmente no que diz respeito à previsão das propriedades médias da distribuição do produto final.

O terceiro modelo proposto inclui na sua equação de balanço de população as cinéticas de cristalização e o mecanismo de aglomeração, sendo esta, por isso, desenvolvida num sistema de coordenadas de volume de partícula. É aplicada a técnica de transformação de momentos para a sua resolução, mas as propriedades médias da distribuição já não podem ser expressas à custa dos momentos calculados, tendo sido adoptado um procedimento alternativo para a sua obtenção. As previsões dos resultados experimentais obtidas por simulação computacional com este modelo foram bastante satisfatórias.

Fez-se a avaliação global dos modelos propostos envolvendo a estimativa dos parâmetros cinéticos envolvidos, comparação de resultados, validação experimental e um estudo de análise de sensibilidade do modelo aos parâmetros cinéticos e de operação.

Finalmente, explora-se e assim se perspectiva a utilização da teoria e das ferramentas desenvolvidas, na análise da operação do processo.

Abstract

This work aimed at the theoretical and experimental study of an industrial sugar crystallization unit.

The experimental work was carried out at RAR - Refinarias de Açúcar Reunidas, S.A., in a semi-batch industrial evaporative crystallizer. The unit was equipped with the industrial sensors usually employed in this kind of process. These sensors were tested and calibrated under normal daily operation.

In this work three mathematical models have been developed for description of the crystallizer behaviour through the use of mass, energy and population balance equations, and semi-empirical equations with experimentally determined parameters. The population balance equation is able to include, besides crystal growth, the most important phenomena found in industrial crystallization, namely nucleation, growth dispersion and agglomeration.

The first model developed uses a population balance equation including the nucleation phenomenon only. The moment transformation technique was applied to the solution of the latter, the properties of the distribution being calculated from the predicted moments. The second model presented added the growth dispersion term to the population equation. Identical mathematical treatment was employed to its solution. Both models have shown feeble performances, specially in the prediction of the average crystal size distribution properties.

The third proposed model includes both crystallization kinetics and agglomeration, thus being developed in particle volume co-ordinates. Moment transformation is also applied to its resolution The average distribution properties being no longer obtained from the calculated moments, an alternative procedure was proposed. Computer simulation results obtained from this model have shown good agreement with experimental data.

An overall evaluation of the models was carried out including estimation of kinetic parameters, comparison of results, experimental validation, and sensitivity analysis to kinetic and operation parameters.

Finally, the theory and the tools developed are explored for the objective of developing new forms of process operation.