

1 Introdução

Um processo produtivo industrial geralmente pressupõe a existência de uma seqüência organizada de etapas produtivas. Processos industriais modernos freqüentemente dispõem de máquinas para desempenhar as tarefas associadas a cada etapa. No entanto, a supervisão humana de todo o processo permanece necessária, de modo a garantir que todos os equipamentos estejam funcionando corretamente. Tradicionalmente, isto significava que também era necessário que houvesse uma intervenção humana direta no processo, isto é, os operadores responsáveis pelo processo deveriam inspecionar os equipamentos em intervalos de tempo regulares e intervir no funcionamento dos mesmos quando necessário.

Atualmente, os processos industriais estão não somente mais automatizados, ou seja, cada vez mais máquinas exercem um número crescente de etapas produtivas, mas também mais complexos e com maior capacidade de produção. Todos estes aspectos fazem com que seja cada vez mais difícil supervisionar e intervir no processo baseando-se apenas nas informações coletadas pela observação humana dos equipamentos. Deve-se, ainda, somar a isto o fato de que a quantidade de informações que deve ser monitorada pelos operadores também aumentou significativamente ao longo das últimas décadas. De fato, estatísticas industriais da década de 1980 revelavam que o número de variáveis observadas a cada segundo pelos operadores em grandes plantas industriais poderia chegar a 1500 (Bailey, 1984). Desde então, é possível supor que a sobrecarga de informação à qual os operadores são submetidos tenha aumentado ainda mais e que o número de variáveis monitoradas atualmente seja tão grande quanto (ou até mesmo superior a) este valor.

Devido em grande parte a essas dificuldades, constata-se que, em momentos onde se torna necessária a intervenção dos operadores no processo, estes freqüentemente tomam decisões erradas. A ocorrência de acidentes torna-se, portanto, mais provável – de fato, estatísticas industriais revelam que aproximadamente 70% dos acidentes industriais são causados por erro humano

(Venkatasubramanian *et al.*, 2003^a). Neste sentido, cabe ainda mencionar que, apesar de acidentes de proporções catastróficas serem pouco frequentes, pequenos acidentes são muito comuns no dia-a-dia de uma planta industrial e contribuem para grandes perdas financeiras por parte da empresa. Por exemplo, estima-se que a indústria petroquímica norte-americana perca anualmente aproximadamente 20 bilhões de dólares devido à intervenção inadequada dos operadores no processo produtivo (Venkatasubramanian *et al.*, 2003^a).

Desta forma, percebe-se que um dos grandes desafios da engenharia do século XXI é o desenvolvimento de ferramentas que possam auxiliar os operadores nos momentos de difíceis tomadas de decisão e contribuir, conseqüentemente, para o aumento tanto da segurança do processo, quanto de sua produtividade. Neste contexto, torna-se relevante automatizar algumas técnicas de gerenciamento de eventos através de, por exemplo, sistemas inteligentes de controle de processos, cujo objetivo não seria substituir o operador humano, mas fornecer-lhe informações previamente organizadas, de modo a diminuir a incidência de intervenções inadequadas e, conseqüentemente, maximizar a produção, melhorar a qualidade do produto, reduzir custos de produção e minimizar impactos ambientais (Xia e Rao, 1999). Com este intuito, a primeira e mais importante etapa que deve ser desenvolvida é a de modelagem do processo industrial, sem a qual não é possível implementar adequadamente um sistema inteligente de controle de processos (Ohshima e Tanigaki, 2000).

É importante salientar que as condições operacionais de um determinado processo produtivo são geralmente medidas e monitoradas através de sensores *on-line*. Por outro lado, o monitoramento da qualidade do produto final através de sensores é, na grande maioria dos casos, economicamente inviável, o que torna o controle da qualidade uma tarefa especialmente complexa. Neste contexto, sistemas de apoio à decisão que incorporam técnicas de inteligência artificial vêm sendo cada vez mais adotados com o intuito de auxiliar os operadores humanos no monitoramento e controle do funcionamento de processos industriais (Uraikul *et al.*, 2007). Tais sistemas auxiliam os operadores a relacionar as condições nas quais o processo se encontra à qualidade do produto final e a agir rápida e corretamente em momentos em que o produto esteja fora de especificação.

Visto que apenas um número limitado de eventos é responsável por determinar o estado de um processo industrial, todos os dados operacionais são

simplesmente diferentes reflexos dos mesmos eventos (MacGregor e Kourti, 1995). Desta forma, considerar que as variáveis de processo são independentes e analisá-las separadamente dificulta enormemente a interpretação do processo. Neste contexto, convém destacar o uso de redes neurais artificiais no desenvolvimento de ferramentas inteligentes de monitoramento de processos industriais, já que as mesmas não fazem uso de qualquer pressuposição no que diz respeito à distribuição estatística dos valores monitorados (Yu e Xi, 2007). De fato, esta importante característica vem contribuindo para que redes neurais artificiais sejam aplicadas a diversos tipos de problema de engenharia.

Apesar do conceito de redes neurais artificiais não ser recente – alguns dos primeiros trabalhos na área, tais como o de McCulloch e Pitts (1943) e o de Hebb (1949), datam da década de 1940 – o interesse nesta área de pesquisa aumentou significativamente ao longo da segunda metade do século XX. Em grande parte, o aumento de interesse nesta área de pesquisa deve-se, por um lado, ao fato de redes neurais artificiais serem genéricas e apresentarem capacidade de aproximação e adaptabilidade. Por outro lado, o aumento da popularidade de redes neurais artificiais também está associado à sua capacidade de capturar, diretamente através de dados reais, as complexas relações entre entradas e saídas de uma variedade de sistemas físicos, ou seja, não há necessidade de derivar modelos fenomenológicos (Tsai e Chang, 1995). Em especial, cabe citar o uso de redes neurais artificiais na área de modelagem e monitoramento da qualidade de processos químicos.

Neste contexto, o presente estudo visa a contribuir para o desenvolvimento de aplicações de redes neurais artificiais para a modelagem de processos químicos. Neste sentido, objetivou-se modelar, utilizando redes neurais artificiais, a qualidade de um processo industrial de polimerização. Para tal, foram coletados dados operacionais do processo de produção de polietileno de baixa densidade de uma empresa petroquímica nacional. Os dados operacionais foram, então, pré-processados e utilizados como dados de entrada de redes neurais artificiais, cujo objetivo era modelar o relacionamento entre as variáveis operacionais e a qualidade do produto. Várias configurações de redes neurais artificiais foram testadas e, diferentemente dos trabalhos encontrados na literatura científica, o modelo gerado no presente estudo foi apresentado explicitamente, isto é, através de equações cujos parâmetros são divulgados. Os resultados gerados pelo melhor

modelo neural da qualidade do produto foram, então, comparados com dados experimentais e modelos fenomenológicos.

O presente trabalho foi organizado em cinco capítulos. Após uma introdução (Capítulo 1) que visa a salientar a relevância do estudo desenvolvido, é incluída uma revisão bibliográfica (Capítulo 2), cujo objetivo é apresentar a teoria e conceitos importantes sobre modelagem de processos químicos e redes neurais artificiais, bem como mencionar o estado da arte nesta área, tendo como base a literatura científica pertinente. Em seguida, encontra-se um capítulo de metodologia (Capítulo 3), que inclui a descrição do processo industrial de produção de polietileno de baixa densidade, o detalhamento do pré-tratamento dos dados operacionais, bem como as configurações de redes neurais artificiais consideradas neste estudo. Procede-se, então, à apresentação dos resultados obtidos (Capítulo 4), juntamente com uma comparação entre os resultados gerados pela modelagem neural, dados experimentais e os resultados provenientes de outros modelos existentes para o processo de produção de polietileno de baixa densidade. Finalmente, conclusões e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas (Capítulo 5).