

REVISTA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Volume 38 Nº 1 Janeiro - Março 2015

Revista de Ciências Agrárias

(Continuação, a partir de 1974, da Revista Agronómica, iniciada em 1903)

Publicada trimestralmente pela SOCIEDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE PORTUGAL (SCAP)

CORPO EDITORIAL/EDITORIAL BOARD

Director

Manuel Soares

Editor

Pedro Talhinhos

Editores-adjuntos

Ana Monteiro

Raquel D. Mano

Mariana Mota

EDITORES ASSOCIADOS/ASSOCIATE EDITORS

Joaquim Quelhas dos Santos (ISA, Coord.)

Afonso Martins (UTAD, Gestão do Solo)

Ana Monteiro (ISA, Herbologia)

António Fabião (ISA, Eng^a Florestal e dos Recursos Naturais)

António Monteiro (ISA, Horticultura Herbácea)

Carlos Alexandre (UE, Ciência do Solo)

Carlos M. Lopes (ISA, Viticultura)

Cristina S. Oliveira (ISA, Fruticultura)

Elisabete Figueiredo (ISA, Proteção Integrada)

Fernando Santos (UTAD, Mecanização Agrícola)

Generosa Teixeira (FFUL, Plantas Aromáticas)

Henrique Ribeiro (ISA, Nutrição e Fertilização)

Isabel Videira de Castro (INIAV, Microbiologia do solo)

José Pimentel Castro Coelho (ISA, Culturas Arvenses)

José Gomes Laranjo (UTAD, Castanheiro)

Leandra Rodrigues (CEBAL, Genómica Agronómica)

Leonor Silva Carvalho (UE, Economia Agrícola)

Luís Leopoldo Silva (UE, Hidráulica Agrícola)

Luísa Falcão e Cunha (ISA, Produção Animal)

Manuel Madeira (ISA, Ciências do Solo)

Manuela Neves (ISA, Matemática e Estatística)

Manuela Veloso (INIAV, Recursos Genéticos)

Maria de Lurdes Inácio (INIAV, Patologia Vegetal)

Maria Odete Torres (ISA, Pastagens e Forragens)

Mariana Mota (ISA, Biotecnologia Agrícola)

Maribela Pestana (UALG, Nutrição e Fertilização)

Miguel Brito (ESA, IPVC, Compostagem e Fertilização)

Raquel Guiné (IPV, Engenharia Alimentar)

Ricardo Boavida Ferreira (ISA, Bioquímica e Fisiologia)

Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal (Triénio 2014 – 2016)

DIREÇÃO

Manuel Augusto Soares, *Presidente*

Jorge de Castro, *Vice-Presidente*

Corina Carranca, *Secretário-Geral*

Fernando Pires da Costa, *Tesoureiro*

Fátima Baptista, *Vogal*

Ana Paula Ramos, *Vogal*

Artur Amaral, *Vogal*

ASSEMBLEIA GERAL

Amarilis Mendonça, *Presidente*

M. Leonor Carvalho, *Vice-Presidente*

Fernanda M. Delgado, *1º Secretário*

João Mourato, *2º Secretário*

CONSELHO FISCAL

Pedro Reis, *Presidente*

João Calvão, *Relator*

Guida Tralhão, *Vogal*

Objetivos e âmbito A *Revista de Ciências Agrárias* publica artigos técnico-científicos e revisões bibliográficas, inéditos, no âmbito das Ciências Agrárias e afins, em línguas portuguesa, inglesa ou espanhola. A revista acolhe submissões de trabalhos realizados em qualquer parte do mundo e aceita originais de sócios e não sócios da SCAP. Os critérios de aceitação de manuscritos para publicação são a originalidade, relevância, rigor científico e clareza de apresentação.

Editor A *Revista de Ciências Agrárias* é publicada trimestralmente pela SOCIEDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE PORTUGAL (SCAP), Rua da Junqueira, n.º 299, 1300-338 Lisboa, Portugal | Tel. 213 633 719 | E-mail: secretariado@scap.pt | Web: www.scap.pt | NIF 502 241 551

ISSN 0871-018 X | **Fontes de indexação** CAB International, latindex, SciELO | Depósito Legal n.º 12507/98 | N.º ERC 118581

Impressão SEXTACOR – Soluções Gráficas, Lda. | www.sextacor.pt | **Capa:** Miguel Inácio | jmdebi@gmail.com

A **submissão** de trabalhos deverá ser encaminhada para revista@scap.pt, seguindo as instruções para apresentação indicadas no final da revista e no site da SCAP.

Distribuição A *Revista de Ciências Agrárias* é distribuída gratuitamente aos sócios da SCAP. Custo de cada exemplar 25€. Assinatura anual 80€.

Limitação de responsabilidade O conteúdo e as opiniões expressas nos artigos publicados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos

The extrusion in food technology: types, advantages and equipments

Maria de Fátima Lopes-da-Silva,^{1,2} Luís Santos¹ e Altino Choupina^{1,2*}

¹ Escola Superior Agrária de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Sta Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal

² Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Escola Superior Agrária de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal E-mail: albracho@ipb.pt, author for correspondence

Recebido/Received: 2014.09.02

Aceite/Accepted: 2014.11.20

RESUMO

A extrusão é uma etapa do processamento industrial de matérias-primas sólidas, a qual junta várias operações e processos num único equipamento, denominado extrusora ou extrusor. A extrusão apresenta várias vantagens na indústria alimentar, em termos operacionais e tecnológicos, pelo que o seu uso tem vindo a aumentar. Neste trabalho são apresentados os diferentes tipos de extrusão empregues na área alimentar, a sua classificação e respetivos equipamentos, assim como o seu modo de funcionamento, as suas vantagens e os parâmetros mais importantes para a sua regulação.

Palavras-chave: extrusão, extrusão-cozedura, parafuso duplo, parafuso simples.

ABSTRACT

Extrusion is a step in the industrial processing of bulk solid materials, which joins various operations and processes on single equipment, called the extruder. The extrusion has several advantages in the food industry, in operational and technological terms, so their use has been increasing. In this paper the different kinds of extrusion used in the food area, their classification and their respective equipment, as well as its mode of operation, its advantages and the most important parameters for its regulation are presented.

Keywords: extrusion, extrusion-cooking, twin screw, single screw.

Conceito e tipos de extrusão

A extrusão pode ser definida como uma etapa de processamento industrial de matéria-prima sólida, a qual junta num único equipamento várias operações unitárias e modificações físico-químicas, frequentemente em combinação, como mistura, cozedura, batida, corte, moldagem, gelatinização, fusão, torra, caramelização, secagem e esterilização e processos

como a texturização, culminando na saída do respetivo produto através de um orifício (Fellows, 2006). O processo de extrusão pode ser promovido através da utilização de um pistão, de um conjunto de rolos ou de parafuso(s) para forçar o material, normalmente através de uma abertura estreita, a chegar à forma desejada. Em muitos processos de extrusão alimentar, o aquecimento e a cozedura das matérias-primas têm lugar simultaneamente, à medida que estas são

misturadas e dão forma ao produto final (Heldman e Hartel, 1997). Deste modo, após as respectivas matérias-primas sofrerem um aquecimento que conduz ao seu amolecimento ou até à fusão, o produto é moldado por este orifício de saída, consolidando a sua forma (Baird e Reed, 1989; Muelenaere, 1989; Fellows, 2006). Os equipamentos que asseguram a

efetivação desta etapa de processamento industrial denominam-se extrusoras ou extrusores.

Uma extrusora, na sua forma mais comum, é composta de uma tremonha ou funil de alimentação, que recebe a matéria-prima e a encaminha por um canhão, também denominado de manga ou carcaça, terminando num orifício de saída (Figura 1).

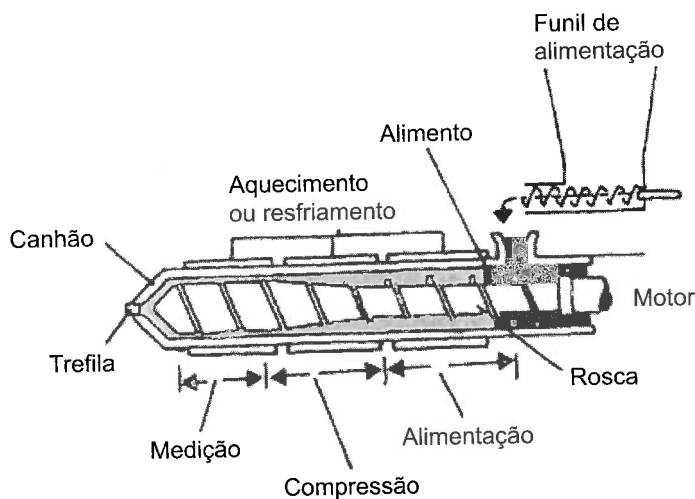


Figura 1 – Constituição geral de uma extrusora de rosca única ou de parafuso simples, destacando-se, em particular, as diferentes zonas em que esta se subdivide (Cortesia de Werner & Pfeiderer Ltd.)

No interior do canhão gira um parafuso helicoidal, também denominado de rosca, o qual, acionado por uma eletrobomba, impele o material em direção a um orifício ou ranhura de saída do produto, ou a um agregado de orifícios ou de ranhuras de saída, denominado, no seu conjunto, de fieira, trefila ou boquilha.

Apesar das especificidades inerentes a cada fabricante, o parafuso helicoidal e a superfície interna do canhão são também, por regra, rugosas ou ranhuradas, de modo a evitar o escorregamento e a fomentar uma adesão acrescida da matéria-prima às superfícies internas do equipamento. Deste modo, e dado que, por regra, o espaçamento interno do canhão, entre a sua superfície interior e a superfície da rosca, é muito pequeno, a matéria-prima, em face da rotação do parafuso helicoidal, vê-se submetida a pressões elevadas.

As diferentes formas de combinação de operações e processos na extrusora, muito variáveis, são função da escolha dos parâmetros de extrusão adequados à obtenção do produto final e/ou dos produtos intermédios pretendidos (Meuser e Wiedmann, 1989). Porém, pode-se considerar que há duas modalidades de extrusão aplicadas na indústria alimentar

(Fellows, 2006): extrusão a quente e extrusão a frio.

Na extrusão a quente, que Muelenaere (1989) denomina de extrusão-cozedura, é empregue calor, de modo a obter temperaturas elevadas no canhão, da ordem dos 100-180°C (Hauck, 1993), podendo inclusive chegar aos 200°C, traduzidas em temperaturas no produto de cerca de 150°C. Contudo, quando se opera a temperaturas elevadas, o tempo de residência do material no canhão é relativamente curto, a fim de evitar ou de mitigar alterações indesejáveis no produto provocadas pelo calor, como acastanhamento, perda de vitaminas e de aminoácidos essenciais ou aparecimento de sabores estranhos.

A extrusão a quente é empregue com o intuito de cozedura de materiais, geralmente amiláceos e/ou proteaginosos, processados de forma a obter uma massa plástica viscosa. Outras importantes utilizações da extrusão a quente são a gelatinização do amido, a inativação enzimática para prevenção de alterações indesejáveis, a redução da flora microbiana, a destruição de toxinas termolábeis e a destruição de substâncias menos resistentes ao calor que, de outro modo, poderiam propiciar alterações organolépticas prejudiciais ao produto (Harper, 1979; Fellows, 2006) e diminuir a sua inocuidade.

A extrusão-cozedura é uma importante tecnologia de processamento alimentar e tem sido usada desde meados dos anos 30 na produção de cereais de pequeno-almoço, também denominados de cereais matinais, aperitivos prontos a comer (tipo snack) e outros alimentos texturizados. Estes produtos não só melhoram a digestibilidade (Singh *et al.*, 2010), mas também melhoram a biodisponibilidade de nutrientes presentes nas matérias-primas (Gu *et al.*, 2008); por isso, nas últimas décadas, foi estudada de forma extensiva para a produção de uma grande variedade de géneros alimentícios com características especiais (Quadro 1).

Já a extrusão a frio, com temperaturas de cerca de 50°C no produto (Hauck, 1993), é usada para moldagem de massas alimentícias e no processamento de produtos cárneos e de gomas. Certos autores, como Fellows (2006), consideram ainda como extrusão a frio o emprego de temperaturas intermédias, da or-

dem de 80°C (Hauck, 1993), como as que são usadas no processamento de massas em panificação ou de rações semi-húmidas para animais.

Já no que diz respeito especificamente às extrusoras, Heldman e Hartel (1997) consideram três tipos: as que operam a frio, e que fazem a mistura e moldagem; as que operam a baixa pressão, envolvendo a cozedura e a produção a temperaturas inferiores a 100 °C; e, as que operam a extrusão a alta pressão, envolvendo a cozedura e a produção a temperaturas superiores a 100 °C.

Os produtos alimentares obtidos por extrusão são múltiplos (Quadro 1), podendo ser encontrados em diversas secções de espaços comerciais como mercearias, supermercados e lojas de conveniência, e incluem, designadamente, produtos derivados de cereais, produtos de confeitaria, produtos à base de proteínas texturizadas e alimentos para animais de companhia.

Quadro 1 – Exemplos típicos de produtos alimentares produzidos pela tecnologia de extrusão (adaptado de Heldman e Hartel (1997) e Brennan *et al.* (2011)).

Massas alimentícias (<i>pasta products</i>)
Cereais matinais prontos a comer (<i>RTE, ready-to-eat breakfast cereals</i>)
Produtos aperitivos (tipo <i>snack</i>) <i>Snacks</i> expandidos, <i>corn curls</i> , <i>crispbreads</i> , produtos co-extrudidos, etc.
Alimentos para bebés (<i>baby foods</i>)
Sopas desidratadas (<i>dried soups</i>)
Misturas desidratadas para bebidas (<i>dry beverage mixes</i>)
Alimentos para animais de companhia (<i>pet foods</i>) Secos, semi-húmidos
Produtos de confeitaria <i>Toffees</i> , caramelos, etc.
Proteínas texturizadas Análogos de carne à base de proteínas vegetais, proteínas de soja texturizadas, <i>surimi</i>

A versatilidade da extrusão reflete-se ainda pela utilização dos seus produtos na preparação de rações alimentares para o exército e para o campismo, de alimentos para dietas específicas e de alimentos destinados a satisfazer as necessidades nutricionais em situações de desastres naturais (EUFIC, 2002).

Vantagens do emprego da extrusão

Relativamente às técnicas de confeção ou de processamento convencionais, a extrusão-cozedura distingue-se pela capacidade de desenvolver produtos dife-

rentes em termos de paladar e de textura, incluindo propriedades de expansão e poder crocante, para além do aumento da digestibilidade dos alimentos e biodisponibilidade de nutrientes (Brennan *et al.*, 2011).

As vantagens que a extrusão efetivamente apresenta foram enumeradas por diversos autores, designadamente por Harper (1989), Heldman e Hartel (1997), Fellows (2006) e Riaz *et al.* (2009):

- a) Elevada versatilidade – com base na extrusão pode ser obtida uma grande diversidade de

produtos, de forma e tamanho bastante variáveis, através de diferentes combinações de ingredientes, condições de operação da extrusora e várias formas de ranhura na feira;

- b) Elevada produtividade – a produtividade é significativamente superior à apresentada por outros processos de cozedura e moldagem, tanto mais que se trata de uma operação que pode ser efetuada em contínuo, numa linha de processamento com elevado grau de automação, resultando em elevada eficiência e economia do processo;
- c) Maior qualidade do produto – a qualidade intrínseca dos produtos está salvaguardada mesmo no caso da extrusão a quente, quer pelo emprego de binómios do tipo HTST (*High Temperature-Short Time*), que devido ao curto tempo de aplicação permitem manter as qualidades sensoriais, quer pela melhoria da digestibilidade devido à gelatinização do amido e à desnaturação de proteínas, quer pela inativação irreversível de enzimas indesejáveis que, de outro modo, alterariam prejudicialmente o produto, como é o caso das lipases e lipo-oxidases, quer pela destruição de flora microbiana;
- d) Maior eficiência energética – a extrusão, ao conseguir operar matérias-primas com teores de humidade relativamente baixos, diminui as necessidades de calor, designadamente, para a cozedura e secagem do produto, traduzindo-se numa maior eficiência energética, quando comparada com outros processos;
- e) Menor ocupação de espaço – as linhas de processamento e respetivos equipamentos, quando incluem processos de extrusão, necessitam, em igualdade de circunstâncias, de ocupar menos espaço, quando comparados com outros processos conducentes à obtenção de produtos análogos;
- f) Ausência de produção de efluentes – a utilização desta tecnologia traduz-se na produção de um volume de resíduos e efluentes bastante reduzidos dado que se faz um aproveitamento quase integral das matérias-primas, não se gerando subprodutos. Desta forma, as preocupações ambientais ficam bastante limitadas e há uma melhoria da eficiência do processo de extrusão.

Equipamentos de extrusão

A extrusão-cozedura foi pela primeira vez empregue no processamento de alimentos em meados do século XIX, em processos industriais descontínuos. A partir dos anos 30 do século XX começou a ser empregue em regime contínuo. Mas foi sobretudo a partir dos anos 60 que os produtos alimentares processados por extrusão começaram a multiplicar-se, face à elevada versatilidade deste processo.

Porém, o funcionamento do respetivo equipamento pouco se alterou desde então, a não ser no tocante à possibilidade de incorporação de novas tecnologias com base em programação informática de parâmetros como tempos, temperaturas e fórmulas de fabrico a empregar. Genericamente, numa extrusora:

- O canhão é formado por ligas metálicas duras e resistentes, compostas de aço inoxidável de grande têmpera, endurecido com partículas de carbono, dado que está sujeito a elevadas pressões, a que acresce o desgaste provocado pela fricção suscitada pelo material a processar. A relação comprimento/diâmetro (L/D) é normalmente superior a 20:1;
- O motor elétrico produz o movimento de rotação do parafuso. Existe um redutor cuja função é reduzir proporcionalmente a velocidade de rotação do parafuso a qual, dependendo do grau de sofisticação da extrusora, pode ser fixa ou variável;
- O parafuso, ao girar dentro do canhão, ajusta, molda e conduz o material até à feira.

As extrusoras são geralmente classificadas de dois tipos: de parafuso simples ou de parafuso duplo. A Figura 1 e a Figura 2 mostram os esquemas de operação típicos de cada uma delas, destacando-se, em particular, as diferentes zonas em que estas se subdividem.

Nas extrusoras de parafuso simples (Figura 1) considera-se existirem várias secções, associadas a diferentes tarefas. A zona de alimentação é aquela onde é recolhida, na extrusora, a matéria-prima. Nesta zona, o parafuso deve permitir um enchimento rápido; por isso, a “fita” helicoidal do parafuso tem habitualmente maior profundidade. Na zona de compressão ou de transição, a profundidade do parafuso diminui, iniciando-se a compressão e o processamento propriamente dito; os materiais começam a sofrer cozedura e ocorrem alterações estruturais. Na última secção, o cisalhamento é intenso, a pressão aumenta muitíssimo e há uma elevada acumulação de calor em resultado da dissipação da energia mecânica, ocorrendo tudo isto à medida que o movimento do parafuso encaminha o produto para o(s) orifício(s) de descarga (Heldman e Hartel, 1997).

Já nas extrusoras de parafuso duplo (Figura 2) existem dois parafusos independentes que giram ou em co-rotação ou em contra-rotação, para além de que podem ainda estar entrosados, ou não, entre si.

Comummente, as extrusoras de rosca dupla usadas em processamento alimentar apresentam um canhão cuja secção transversal conjunta dos dois parafusos entrelaçados tem a forma de oito, girando os mesmos em co-rotação. Em face do seu movimento, estes equipamentos são autolimpantes, isto é, o passo de um parafuso raspa a massa que está aderida ao outro (Figura 2, esquerda). Isto permite que o produto escoe ao longo do comprimento do canhão, alternando entre um lado e o outro do mesmo. O grau de entrosamento ou entrelaçamen-

to entre ambos parafusos determina as características de mistura. Os passos dos parafusos, o grau de entrelaçamento, o espaçamento entre parafusos e o seu ângulo de inclinação são, por regra, reguláveis, determinando o volume das zonas de transporte: para permitir o transporte numa zona de cozedura utiliza-se um passo maior do parafuso, enquanto se usa um passo mais reduzido para pressionar a massa antes da extrusão através da fieira.

O uso adicional de discos para amassar, que se dispõem orientados sobre o eixo de forma que o produto os atravesse e passe entre eles, reforça a ação de cisalhamento, mantendo alguma capacidade para fazer avançar o material no canhão.

A flexibilidade associada às extrusoras de rosca du-

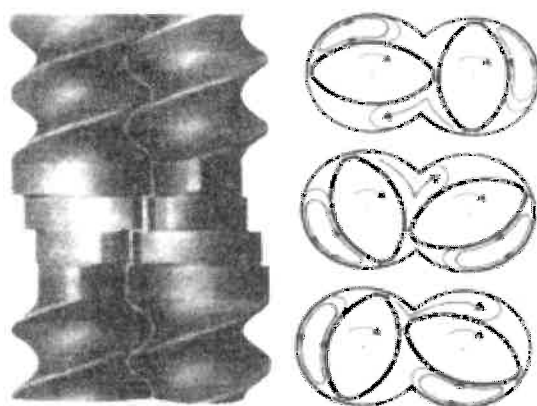


Figura 2 – Extrusora de rosca dupla ou de parafuso duplo: à esquerda, perfil dos dois parafusos entrosados, e à direita, representação esquemática do movimento das roscas (Cortesia de Werner & Pfeiderer Ltd.).

pla é ainda aumentada pela inversão do passo do parafuso – isto é, pela inversão do sentido de enrolamento da “fita” helicoidal do parafuso – criando-se uma zona de despressurização que permite a expansão de voláteis e da humidade.

Na parte final do canhão, no fim dos dois parafusos, o fluxo do produto é conduzido a uma corrente única, que é forçada a atravessar os orifícios da fieira (Heldman e Hartel, 1997).

Contudo, para além da distinção parafuso simples/duplo, o tipo de trabalho que a extrusora vai executar é definido por vários outros parâmetros, entre os quais a configuração, comprimento, geometria e velocidade do parafuso.

Existem vários tipos de configuração de parafusos, desde o elementar Parafuso de Arquimedes, de passo constante da hélice, até parafusos de diâmetro constante e passo decrescente com conseqüente acréscimo de pressão em direção à fieira. Existem

ainda parafusos de passo constante e diâmetro crescente, também com acréscimo de pressão em direção à fieira.

O canhão da extrusora é geralmente cilíndrico, embora também existam com forma cônica para operações especiais, e tem a sua superfície interna lisa ou com estrias superficiais paralelas ao seu comprimento, podendo também estas estarem dispostas em hélice com uma direção oposta à da rotação do parafuso. Estas estrias ajudam o parafuso a impulsionar o material contra a pressão que se desenvolve durante o processo de extrusão. No caso de a taxa de compressão ser muito elevada, o canhão está subdividido em segmentos ligados entre si, os quais podem ser aquecidos ou arrefecidos.

A velocidade do parafuso depende do tipo de produto pretendido, podendo variar desde 30 rpm no caso da extrusão contínua de massas alimentícias tendo como objetivo a mistura dos ingredientes e/

ou um processo de moldagem a frio, até 600 rpm nos processos de extrusão a quente em que se pretendem desenvolver elevadas tensões tangenciais com o fim de maximizar as transferências de calor e as alterações moleculares dos constituintes do produto.

Como foi atrás afirmado, o pequeno espaçamento entre a parede interna do canhão e a superfície da rosca propiciam a geração de pressões elevadas na massa quando esta é impelida para a fiação. Contudo, vários outros fatores contribuem para que a pressão exercida sobre a massa assumam valores muito elevados, designadamente, o aumento de diâmetro do parafuso junto à fiação, frequentemente associado a uma diminuição do seu passo. Consoante os fabricantes destes equipamentos, é também comum a introdução de restrições nos passos do parafuso de maneira a aumentar a pressão. A pressão exercida sobre a massa junto à fiação varia entre 2 MPa, mais apropriada para o processamento de produtos de baixa viscosidade, e 17 MPa, mais adequada para o fabrico de aperitivos expandidos (Heldman e Hartel, 1997).

Perante tão elevados valores de pressão exercida sobre a massa, e dado o facto de pelo menos 50% da energia produzida pelo trabalho do motor se dissipar sob a forma de calor por fricção dos materiais (Harper, 1987), é significativo o risco de aumentos descontrolados de temperatura, oriundos, em particular, de fenómenos locais ou pontuais de sobre-aquecimento. Torna-se, pois, imperioso garantir o adequado controlo e prevenção de potenciais consequências indesejáveis, para o equipamento e para o produto, da irradiação de calor. Tal é assegurado, por regra, pela circulação de água fria entre as paredes do canhão.

De facto, o canhão é formado por uma parede dupla, sob a forma de camisa, no interior da qual circulam fluidos de aquecimento ou de arrefecimento, tirando partido do elevado coeficiente de transmissão térmica do aço inoxidável constituinte do canhão, designadamente água mais quente ou mais fria, vapor, óleo aquecido ou fluido refrigerante. Sublinhe-se, contudo, que alguns equipamentos de extrusão possuem componentes que asseguram o aquecimento adicional do canhão por indução elétrica. Estes componentes justificam-se pela necessidade de assegurar o adequado aquecimento da fiação perante o processamento de massas com viscosidade relativamente elevada a mais baixas temperaturas.

Estas camisas de aquecimento ou arrefecimento que envolvem o canhão, permitem um controlo

mais fácil e uma maior flexibilidade da operação. Geralmente, a secção de alimentação é envolvida por uma camisa de arrefecimento, enquanto que à saída da extrusora é de aquecimento, para aumentar o grau da cozedura e a capacidade de extrusão.

O motor elétrico que faz girar a rosca deve ser suficientemente potente para encaminhar o material em direção à fiação, suportando pressões da ordem de vários milhões de Pascal (Fellows, 2006). A velocidade angular da rosca é um parâmetro determinante na velocidade linear com que a massa é deslocada em direção à fiação e, portanto, no tempo de residência desta no canhão. Frequentemente, a velocidade angular da rosca é regulável, apresentando, tipicamente, valores de 150 – 600 rpm, congruentes com tempos de residência da massa da ordem de 10 – 60 s. Não são desejáveis tempos de residência da massa significativamente superiores a estes valores, sobretudo na extrusão a quente, a fim de se evitar alterações orgânicas indesejáveis propiciadas pelo calor, designadamente fenómenos de acastanhamento.

As extrusoras de rosca única estão particularmente vocacionadas para o processamento por moldagem e cozedura simples.

Segundo Fellows (2006), as extrusoras de rosca única podem ser classificadas quanto à força de corte ou cisalhamento que exercem sobre a massa a processar. Nos termos deste critério de classificação, estas extrusoras podem ser consideradas de: alto cisalhamento, quando se está perante equipamentos com motor de elevada velocidade angular e pequeno espaço entre a rosca e o canhão, que propiciam a geração de pressões mais elevadas, estando vocacionados para a produção de cereais matinais e de salgadinhos expandidos; médio cisalhamento, com pressão em termos relativos de valor médio, mais destinados ao processamento de massas de panificação, de proteína texturizada e de rações para animais semi-húmidos; baixo cisalhamento, associado a equipamentos com baixa velocidade angular e maior espaço entre a rosca e o canhão, geradores de mais baixas pressões, mais próprios para o fabrico de gomas e de produtos cárneos e para a modelagem de massas.

Dada a capacidade de regulação de componentes existentes nas extrusoras de rosca dupla, estas apresentam uma maior flexibilidade de operação, quando comparadas com as extrusoras de rosca simples. Outras vantagens comparativas das extrusoras de rosca dupla face aos de rosca simples são, de acordo com Fellows (2006): a maior flexibilidade na acomodação do caudal de alimentação, isto é, a maior capacidade que o equipamento tem de processar

massas mesmo com maiores variações de caudal de alimentação; maior facilidade de operação simultânea com materiais de diferentes tamanhos de partículas; possibilidade acrescida de uso de diferentes secções do canhão para modificar ou regular parâmetros como temperatura, pressão ou humidade; maior facilidade de operação com materiais de textura oleosa ou muito húmidos.

Deste modo, segundo este autor, as extrusoras de rosca dupla conseguem processar massas sólidas com teores máximos de 20% de gordura, 65% de humidade e 40% de açúcares, comparativamente com valores limite máximos de 4, 30 e 10%, respetivamente, para extrusores de rosca simples.

Contudo, uma instalação onde se processa a extrusão requer, para além da extrusora propriamente dita, equipamento auxiliar e métodos complementares para tornar completo o processamento, tais como funis de alimentação, misturadoras, transportadores sem-fim, transportadores pneumáticos, elevadores, cortadoras, crivos, métodos de pré-tratamento ou de pré-mistura, métodos de transferência de calor e métodos de secagem, de pulverização, de revestimento e de acondicionamento e embalamento (Figura 3).

O sistema de alimentação a utilizar depende da natureza das matérias-primas. Para ingredientes secos como grãos e amidos são usados funis de alimentação, que servem para armazenar os materiais imediatamente antes de darem entrada no canhão, sendo comum possuírem sistemas gravimétricos para o controlo da taxa de alimentação baseados, por

exemplo, em medidas de massa do material numa correia de transporte até à extrusora. No caso de líquidos, pastas, suspensões ou polpas o controlo do caudal de alimentação tem de ser feito recorrendo a bombas volumétricas, embora também existam métodos para medição in line do caudal.

É também muito importante a existência de um dispositivo de pré-condicionamento das matérias-primas, para assegurar uma adequada homogeneização das mesmas antes de entrarem no canhão da extrusora, embora também seja útil para reduzir o consumo de energia mecânica e/ou aumentar a capacidade do sistema de extrusão. Geralmente, nesta etapa, os produtos granulados ou os pulverulentos são humidificados usando água ou vapor, assegurando uma maior uniformidade do material à entrada da extrusora e maior consistência nas suas condições de operação (Heldman e Hartel, 1997).

Após a saída do canhão pela fieira, a qual pode ter a forma de um/vários orifício(s), fendas simples ou possuir um desenho mais complexo para obter formas mais elaboradas, como acontece nos cereais de pequeno-almoço, o produto é cortado por uma fresa ou por um conjunto rotativo de facas. A seguir, é comum existir um dispositivo de transporte mecânico ou pneumático onde o produto cai e é encaminhado para as etapas seguintes (Heldman e Hartel, 1997), as quais podem incluir operações tais como secagem, coberturas, e por fim o embalamento.

Face à informação aqui descrita, perspectiva-se que a extrusão continue a ter uma vasta gama de aplicabilidades na indústria alimentar.

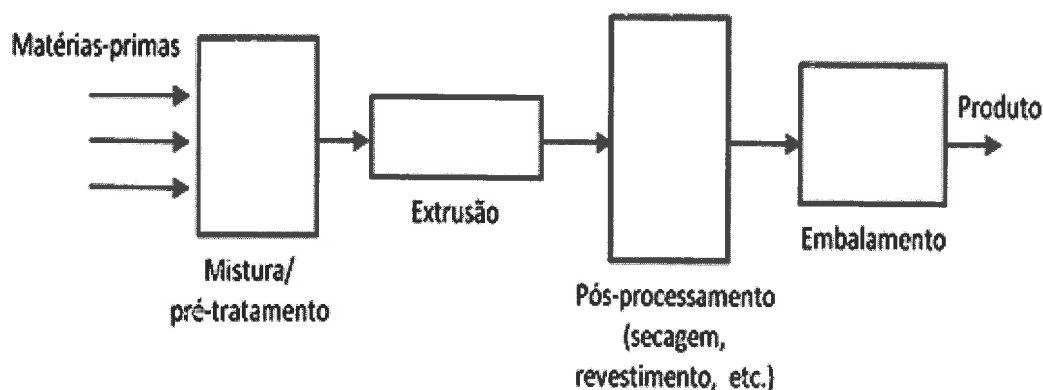


Figura 3 – Esquema simplificado de um processamento fabril agro-industrial com extrusão.

Referências bibliográficas

- Baird, D.G. e Reed, C.M. (1989) - Transport Properties of Food Doughs. In: Mercier, C., Linko, P. e Harper, J.M. (Eds.) - Extrusion cooking. St. Paul, Minnesota. American Association of Cereal Chemists, p. 205-206.
- Brennan, C.; Brennan, M.; Derbyshire, E. e Tiwari, B.K. (2011) - Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 22, n. 10, p. 570-575.
- Fellows, P.J. (2006) - Extrusão. In: *Tecnologia do Processamento de Alimentos. Princípios e Prática*, 2ª Edição. Porto Alegre, Artmed Editora, S.A., p. 305-319.
- European Food Information Council (EUFIC) - (2002) newsletter Food Today nº 31, 02/2002. [citado 2014-05-04]. Disponível em: <http://www.eufic.org/article/en/page/FTARCHIVE/artid/new-food-technologies-processing/>
- Gu, L.; House, S.E.; Rooney, L.W. e Prior, R.L. (2008) - Sorghum extrusion increases bioavailability of catechins in weanling pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 56, n. 4, p. 1283-1288.
- Harper, J.M. (1979) - Food Extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, February, p. 155-215.
- Harper, J.M. (1989) - Food extruders and Their Applications. In: Mercier, C.; Linko, P. e Harper, J.M. (Eds.) - *Extrusion Cooking*. St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, p. 1-16.
- Hauck, B.W. (1993) - Choosing an extruder. In: Turner A. (ed.) - *Food Technology International Europe*. London, Sterling Publications International, p. 81-82.
- Heldman, D.R. e Hartel, R.W. (1997) - Principles of Food Processing. New York, Chapman and Hall, p. 253-283.
- Meuser, C. e Wiedmann, W. (1989) - Extrusion Plant Design. In: Mercier, C.; Linko, P. e Harper, J.M. (Eds) - *Extrusion Cooking*. St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, p. 1-16.
- Muelenaire, H.J.H. (1989) - Extrusion: a first and third world tool. *Technology and the consumer. Proceedings of the SAAFOST 10th Biennial Congress and a Cereal Science Symposium held in Durban (RSA)*. Natal, Republic of South Africa, Vol. 1, Technikon, p. 22-42.
- Riaz, M.; Asif, M. e Ali, R. (2009) - Stability of vitamins during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 49, p. 361-368.
- Singh, J.; Dartois, A. e Kaur, L. (2010) - Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 21, n. 4, p. 168-180.