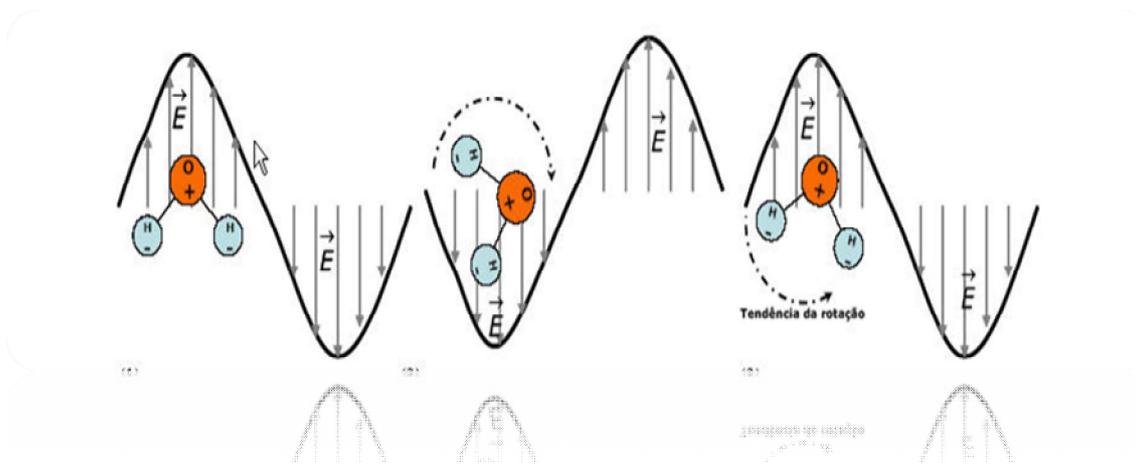




Processamento Geral de Alimentos

Microondas



Nomes

Susana Torrão
Sara Cipriano
Andreia Almeida
Tiago Madeira
Sara Diodado

Assinaturas

Índice

Introdução	4
Princípios de Microondas	6
Generalização das microondas	7
Vantagens do Aquecimento Microondas	8
Factores que afectam o aquecimento por Microondas	8
Frequência para aplicação em alimentos	9
Propriedades dieléctricas	9
Humidade	10
Relação directa entre a massa e a quantidade de energia de microondas absorvida	11
Temperatura de aquecimento microondas	11
Geometria e Local dos Alimentos	12
Propriedades Térmicas	12
Fluxo Secundário em curvas de transformação de tubulação curvada	13
Aplicações Industriais de Microondas Aquecimento	14
Têmpera de peixe, carne e aves	14
Pré - cozinhado de Bacon	16
Cozinhar da Salsicha	16
Branqueamento de Legumes	17
Microondas Efeitos sobre a Enzima	17
Puffing	18
Concentração	18
Desenvolvimento recente no microondas e embalagem de alimentos	18
Pasteurização e esterilização de microondas	19

Cinética de Destruição microbiana_____	21
Sistemas de aquecimento microondas – Aquecimento em lote _____	22
Aquecimento de fluxo contínuo _____	23
Aplicação em sistemas de alimentação _____	24
Limitações no uso de microondas na esterilização _____	25
Recomendações para a pasteurização e esterilização por microondas_____	26
Conclusão _____	28
Bibliografia _____	29

Introdução

O processamento térmico foi a principal tecnologia de processamento na indústria alimentar, depois da sua descoberta por Nicholas Appert e sua comercialização. A finalidade do processamento térmico era estender a vida útil de produtos alimentares sem comprometer a sua segurança.

Vários tratamentos térmicos tais como a pasteurização e a esterilização podem ser seleccionados com base na severidade do tratamento térmico e da finalidade pretendida.

A inactivação dos microrganismos patogénicos e o tratamento térmico pode igualmente conduzir a outras mudanças desejáveis, tais como a coagulação da proteína, amaciar a textura e a formação de componentes aromáticos. Entretanto, o processo apresenta alguma limitação por parcial destruição de atributos da qualidade dos produtos alimentares.

A revolução tecnológica, a consciência nutritiva, e a demanda contínua da nova geração necessitaram de procurar novas ou melhores tecnologias da transformação de produtos alimentares. Presentemente, diversas novas tecnologias de transformação de produtos alimentares, incluindo as microondas e o aquecimento da radiofrequência, tratamento de campo, pulso-eléctrico, processamento de alta pressão, as aplicações ultra-sónicas, irradiação, e os campos magnéticos de oscilação, estão sendo investigados para melhorar, substituir ou complementar a tecnologia de processamento convencional.

O aquecimento de microondas dos alimentos é atractivo devido à sua origem volumétrica, aumento rápido de temperatura, depósito verificável do calor e às facilidades de limpeza. Está sendo usado actualmente para uma variedade de preparações de alimentos e aplicações domésticas e industriais do processamento.

Foi usado com sucesso para terminar a secagem de batatas, para pré-cozinhar galinha e bacon, para moderação da temperatura de alimentos congelados e de produtos de massa.

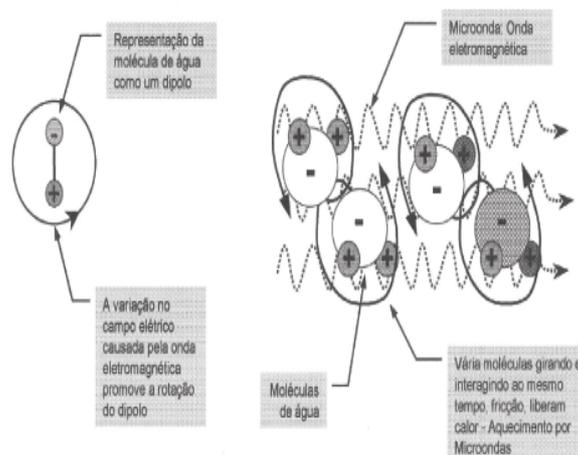
Recentemente, as microondas foram usadas para aquecer alimentos em aplicações comerciais da pasteurização e da esterilização, para realçar a destruição microbiana e para promover a melhor qualidade do produto. Algumas companhias europeias e japonesas de transformação de produtos alimentares utilizaram a tecnologia para a pasteurização e a esterilização comercial dos alimentos, enquanto que as suas contrapartes norte-americanas ainda hesitam em aceitar estes processos.

O aquecimento de microondas é preferido para a pasteurização e esterilização sobre o aquecimento convencional, pois o processo é rápido e exige o mínimo come-up time (CORTE) à temperatura desejada do processo. Para processar alimentos líquidos, os processos (HTST) a curto prazo de alta temperatura foram aceites pela indústria de transformação alimentar, para reduzir a degradação térmica adversa na qualidade do alimento ao assegurar a segurança alimentar. Entretanto, o processo de HTST não é apropriado para os alimentos processados pelos métodos convencionais, devido à lenta condução do calor, que muitas vezes provoca super aquecimento na superfície do sólido, durante o tempo necessário para o calor ser transferido para o ponto mais lento do aquecimento dos alimentos.

O aquecimento por microondas tem a vantagem de superar a limitação imposta pelo processo de difusão térmica lento do aquecimento convencional. O calor volumétrico gerado por microondas pode reduzir, significativamente, o momento e a severidade de aquecimento total nas temperaturas elevadas necessárias para a esterilização comercial, por meio de que a destruição bacteriana é realçada, mas a degradação térmica dos componentes desejados é reduzida.

Princípios de Microondas

As micro-ondas são ondas electromagnéticas que estão dentro de uma faixa de frequência de 300 MHz a 300 GHz. O aquecimento por microondas refere-se ao aquecimento dieléctrico, devido aos efeitos de polarização numa banda de frequência seleccionada num não-condutor. Ele difere do aquecimento capacitivo pela



colocação da amostra. No aquecimento capacitivo a amostra é colocada entre eléctrodos, enquanto que por sua vez, no aquecimento por micro-ondas o material alimentar é comumente abrigado dentro de uma cavidade fechada. As aplicações do aquecimento por micro-ondas têm sido limitadas a estreitas bandas de frequência (Tabela 28,1) para uso industrial, científico e médico, para evitar interferência com as frequências de rádio usadas para fins de telecomunicações. As bandas típicas são 915 ± 25 com profundidades de penetração, variando entre 8 a 22 cm MHz e 2450 ± 50 MHz com profundidades de penetração de 3-8, dependendo do teor de humidade. Esta última, em particular, é usada com mais frequência em fornos de microondas domésticos, enquanto que as duas são usadas para fins industriais. O aquecimento de alimentos através de micro-ondas ocorre devido à ligação de energia eléctrica, a partir de um campo electromagnético com a comida e sua subsequente dissipação no produto alimentar, resultando isto num aumento acentuado da temperatura dentro do produto. A energia das microondas é entregue a um nível molecular, através da interacção das moléculas com o campo electromagnético, em especial, através de fricção molecular resultante da rotação de dipolo de solventes polares e da migração condutora de iões dissolvidos. Os principais mecanismos envolvidos no aquecimento por microondas são a rotação dipolar e polarização iónica. A água presente nos alimentos é o principal componente dipolar responsável pelo aquecimento dieléctrico. Num campo de corrente eléctrica alternada, a polaridade do campo é modulada ao rácio da taxa de frequência de microondas e as moléculas tentam de se alinhar com o

campo em mutação. O calor é gerado rapidamente como resultado do atrito molecular interno. O outro principal mecanismo de aquecimento por micro-ondas, é através da polarização de iões, como resultado dos movimentos de vai e vem, resultantes da tentativa das moléculas, tentando se alinhar com o campo eléctrico oscilante. O aquecimento por micro-ondas também é afectado pelo estado dos componentes, sejam eles vinculados ou livres, por exemplo, os iões vinculados têm muito menor absorcividade de microondas.

A taxa de aquecimento volumétrico (Q) de microondas num determinado local está relacionada com a intensidade do campo eléctrico por:

$$Q = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon'' E^2$$

f é a frequência de microondas, E é a força do campo eléctrico da onda naquele local, ϵ_0 a permissividade do espaço livre (uma constante física), e o factor dieléctrico de perda (propriedade de um material chamado propriedade dieléctrica), que representa a capacidade do material de absorver a onda.

Generalização das microondas

O magnetron é o núcleo do forno de microondas. As microondas são geradas por um magnetron, que é anexado ao aplicador controlado por um guia de ondas. O magnetron é composto por dois elementos de um tubo de electrões (um cátodo e um ânodo), cada um dos quais está numa forma. Um íman é colocado ao redor do ânodo para fornecer um campo magnético. Quando o cátodo é aquecido por meio de um filamento eléctrico, que emite electrões de carga negativa, estes são atraídos por sua vez pelo ânodo carregado positivamente. O campo magnético ao redor do ânodo faz com que os electrões se movam numa trajectória orbital ao invés de uma recta. Com o aproximar dos electrões do ânodo, eles passam pelas cavidades do ressonador do ânodo, e isso faz com que os electrões oscilem a uma frequência muito alta (2450 ou 915 MHz). As oscilações de alta frequência dos electrões no magnetron são captadas por uma pequena antena no tubo superior do magnetron. Essas oscilações são transmitidas através de uma guia de onda para uma caixa de alimentação, de onde são distribuídos para o interior do forno.

Vantagens do Aquecimento Microondas

O aquecimento por microondas tem sido usado com sucesso para o aquecimento, secagem e esterilização de muitos produtos alimentares. Comparado com os métodos convencionais, o processamento por microondas oferece as seguintes vantagens:

- ♣ As microondas penetram dentro dos alimentos e, portanto, o cozinhar ocorre em todo o volume total do alimento internamente, de forma uniforme, e rapidamente, o que reduz significativamente o tempo de processamento e energia despendida;
- ♣ Uma vez que a transferência de calor é rápida, o conteúdo de nutrientes e vitaminas, assim como o sabor, características sensoriais, e a cor dos alimentos são bem conservadas;
- ♣ Ultra-pasteurização ou a esterilização de líquidos minimiza a perda de nutrientes, cor, sabor;
- ♣ Aquecimento de alta eficiência (80% ou mais de eficiência pode ser alcançada);
- ♣ A geometria perfeita para a limpeza no local (CIP) do sistema;
 - adequado para o calor sensível, de alta viscosidade, e multifásicos;
- ♣ De baixo custo de manutenção;
 - o aquecimento é silencioso e não gera gases de escape;
- ♣ Perfil de temperatura plano para a maioria dos produtos;
- ♣ Pode ser combinado com outras tecnologias, tais como trocadores de calor regenerativos e aquecimento infravermelho, para um melhor desempenho do processo.

Factores que afectam o aquecimento por Microondas

Algumas propriedades físicas, térmicas, e eléctricas determinam a absorção de energia de microondas e simultâneo aquecimento de materiais alimentares. Essas propriedades / factores são brevemente discutidos abaixo.

Frequência para aplicação em alimentos

Na frequência para aplicação em alimentos apenas duas frequências são utilizadas para o aquecimento por microondas (915 e 2450 MHz) e, portanto, essas frequências são de especial interesse. Os comprimentos de onda correspondentes para estas frequências são 0,328 e 0,122 m, respectivamente. O comprimento de onda tem um significado especial uma vez que a maioria das interações entre a energia e materiais ocorrem na região e geram calor instantâneo devido à fricção molecular. Componentes alimentares, com excepção da humidade, lípidios e cinzas são relativamente inertes para as frequências de microondas prescritas. Além disso, a frequência (ou comprimento de onda) determina componentes de equipamentos, tais como magnetron, ondas e, em certa medida o volume de aquecimento.

Propriedades dieléctricas

As propriedades eléctricas de materiais no contexto do aquecimento de microondas e radiofrequência são conhecidas como propriedades dieléctricas, que fornecem uma medida de como os materiais de alimentos interagem com a energia electromagnética. Os materiais biológicos podem ser vistos como os condensadores não ideais, em que eles têm a capacidade de armazenar e dissipar a energia eléctrica a partir de um campo electromagnético e, as propriedades podem ser expressas em termos de uma notação complexa. A notação complexa é caracterizada pela permissividade dieléctrica com um componente real, constante dieléctrica, e um componente imaginário, a perda dieléctrica. As propriedades dieléctricas são regidas pelas seguintes equações: (Equação 28,2) e (Equação 28,3), onde E é a constante dieléctrica, E' o factor de perda dieléctrica do material, e j o complexo constante.

A constante dieléctrica é uma medida da capacidade de um material de acumular energia eléctrica, e o factor de perda é uma medida da sua capacidade de dissipar a energia eléctrica na forma de calor. A permissividade complexa é uma medida da capacidade de um material armazenar energia eléctrica, a partir de um gerador de energia de microondas (magnetron). As propriedades dieléctricas de materiais regem, principalmente, o comportamento alimentar de aquecimento de materiais durante o

aquecimento por micro-ondas. A potência dissipada por unidade de volume no campo dielétrico está directamente relacionada com factor de perda (Equação 28.1), no entanto, também pode ser dependente do assunto constante dielétrica à geometria e campo de configuração. A relação da perda dielétrica para a constante dielétrica, definida como a tangente de perda (Equação 28,3), está relacionada com a susceptibilidade do material a ser penetrado por um campo eléctrico e dissipar (atenuar) energia eléctrica na forma de calor. Os materiais são classificados com base na tangente de perda. Aqueles que são altamente perdas absorvem energia das microondas de forma eficiente, enquanto que materiais altamente transparentes, tais como teflon, vidro e querosene, têm factores de baixa perda.

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$$

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

Humidade

O teor de água afecta significativamente as propriedades dielétricas do produto alimentar e, conseqüentemente, a profundidade de penetração das microondas. A taxa de aquecimento desigual é observada em alimentos de alto teor de humidade, por causa da baixa profundidade de penetração de microondas. Alimentos de baixa humidade terão taxa de aquecimento mais uniforme, devido à maior penetração de microondas. O teor de humidade inicial do produto e a taxa de evaporação da humidade desempenham um papel importante durante o aquecimento microondas. O comportamento de aquecimento de água depende da fase da água (líquido dependente versus fase de gelo sólido) e também do teor de água livre disponível. A temperatura constante, o comportamento dielétrico da água livre mantém-se constante na faixa de frequência mais baixa (região estático) e os dipolos de água têm tempo suficiente para reorientar-se com a não absorção de grande parte da energia, enquanto que uma diminuição significativa no comportamento dielétrico pode ser observado na maior frequência (região óptica) sem inversão de campo. A constante

dielétrica diminui exponencialmente com frequência (frequência fundamental) entre as regiões estáticas e óptica.

Relação directa entre a massa e a quantidade de energia de microondas absorvida

Existe uma relação directa entre a massa e a quantidade de energia de microondas absorvida, que deve ser aplicada para atingir o aquecimento desejado. Para uma menor massa, um forno lote é adequado, enquanto que para uma maior taxa de transferência seria muito melhor em equipamentos de grande capacidade. Esses equipamentos têm a vantagem de proporcionar uma maior uniformidade de aquecimento, movendo o produto através do campo de microondas. Cada forno de microondas tem uma massa crítica de amostra (no mínimo) para o seu funcionamento eficiente. É normalmente em torno de carga de 250 mL de água num forno de 1 kW. Abaixo deste nível, uma quantidade significativa de energia de microondas não é absorvida no produto, e com uma carga muito baixa, eles podem danificar o magnetron.

Temperatura de aquecimento microondas

A temperatura de aquecimento de microondas é significativamente afectada pelo nível de temperatura da amostra. As propriedades dielétricas podem variar com a temperatura, dependendo do material. Tanto a temperatura como a humidade podem mudar durante o aquecimento e, portanto, essas podem ter um efeito combinado sobre a constante dielétrica, sobre a tangente de perda, sobre o factor de perda dielétrica, e, posteriormente, sobre o comportamento de aquecimento. O congelamento tem um grande efeito sobre a capacidade de um material aquecer, devido às propriedades dielétricas muito diferentes de gelo e água. A água tem magnitudes, significativamente, mais elevadas de constante dielétrica e perda em relação ao gelo, e essas propriedades são também dependentes da frequência de microondas. A temperatura inicial do alimento a ser aquecido por microondas deve ser controlada ou conhecida, de modo que a energia de microondas possa ser ajustada

para obter temperaturas uniformes finais. Para compensar o efeito da alta temperatura inicial, a potência do forno MW deve ser reduzida, ou uma maior massa de amostra deve ser usada ou o produto deve ser aquecido por um período de tempo mais curto.

Geometria e Local dos Alimentos

A forma do produto alimentar desempenha um papel importante na distribuição de calor dentro do produto aquecido num forno de microondas. Ela afecta a profundidade de penetração de microondas, e a taxa de aquecimento e uniformidade. Produtos de forma irregular estão sujeitos a um aquecimento não uniforme devido à diferença na espessura do produto. Quanto mais próximo o tamanho (espessura) é do comprimento de onda, maior será a temperatura no centro. As partículas menores precisam de menos calor que as maiores. Além disso, quanto mais regular a forma, mais uniforme será a distribuição de calor dentro do produto. Um alimento de uma forma esférica ou cilíndrica aquece mais equilibradamente do que um quadrado. A maior relação superfície-volume aumenta a taxa de aquecimento. Recentemente, tem sido defendido que a uniformidade de microondas para aquecimento de alimentos depende de múltiplos componentes dos alimentos, posicionamento e geometria de produtos e pacotes. O posicionamento tem o efeito mais significativo. A distribuição de temperatura pode ser compensada, em parte, tirando partido da vantagem e intensificação do aquecimento.

Propriedades Térmicas

As características de aquecimento dos alimentos são dependentes de um maior ou menor grau em algumas propriedades térmicas, tais como condutividade térmica, densidade e capacidade calorífica. A condutividade térmica de alimentos desempenha um papel importante no aquecimento por microondas. Materiais com maior condutividade térmica dissipam o calor mais rapidamente do que aqueles com baixa condutividade. Alimentos com alta condutividade térmica levarão menos tempo para atingir a temperatura uniforme durante o período de detenção. A condutividade

térmica de alimentos congelados é maior devido à alta condutividade térmica do gelo, enquanto que ao congelar alimentos secos têm menor condutividade térmica. A capacidade térmica dos alimentos mede a resposta da temperatura de alimentos como resultado da entrada de calor ou remoção. A capacidade de calor pode ser gerada pelo aumento do teor de sólidos por adição de componentes, como o sal e proteínas. A capacidade calorífica, juntamente com a condutividade térmica e difusividade térmica constitui propriedades térmicas do material. A combinação de calor com capacidade de condutividade térmica e densidade é representada por difusividade térmica, definida como a razão de condutividade térmica para a capacidade do produto de calor volumétrico.

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

Fluxo Secundário em curvas de transformação de tubulação curvada

O processamento térmico do fluxo secundário exige que exista um ponto mais frio, para enfrentar um destino de temperatura mínima de tempo de permanência determinado. O ponto mais frio num processo de fluxo contínuo é a região onde os fluidos apresentam a velocidade máxima, que é a posição central axial num tubo recto. A velocidade máxima pode variar numa bobina helicoidal e, portanto, as características do fluxo devem ser determinadas. O uso de bobinas helicoidais cria fluxo da secundária devido à transferência de impulso na direcção radial, o que assegura uma melhor mistura e estabiliza o fluxo laminar. O número de Dean (De) quantifica este fenómeno e, portanto, é o parâmetro adimensional para caracterizar o fluxo em rolos helicoidais.

$$De = Re \sqrt{D_{tube} / D_{coil}}$$

$$Re = \frac{V\rho D_{tube}}{\mu}$$

onde Re é o número de Reynolds, a densidade do fluido, a viscosidade do fluido, D tube o interior do diâmetro do tubo, e D coil o diâmetro da bobina.

O fluxo secundário aumenta as taxas de transferência de calor e massa, além da taxa de transferência do momento, o último resulta numa queda de pressão aumentada. As taxas de transferência de calor são encontradas para aumentar a percentagem de alguns fluxos várias vezes numa bobina helicoidal, contudo, eles são uma função dos tipos de regime de fluxo (laminar ou turbulento), propriedades de fluidos, e configuração de hélice. Recentemente, o conceito de Número Dean tem sido utilizado no aquecimento de microondas de alimentos líquidos e Dean número superior a 100, normalmente exibem de uma corrente eléctrica do fluxo, sendo este considerado adequado para o aquecimento de líquidos em forno de microondas, onde as partículas do fluido têm uma velocidade máxima na maior parte do tubo.

Aplicações Industriais de Microondas Aquecimento

As principais aplicações industriais de aquecimento por microondas são: a têmpera de carne congelada e produtos avícolas; pré-cozinhados de bacon para serviços de comida; cozinhar salsicha; secagem de diversos alimentos; fermento de pão, biscoitos e confeitaria; descongelamento de produtos congelados; branqueamento de vegetais; aquecimento e esterilização de alimentos rápidos, refeições cozinhadas, cereais, e pasteurização e esterilização de alimentos. Breve contas das aplicações individuais são dadas abaixo seguido de um relato detalhado sobre a pasteurização e aplicações de esterilização.

Têmpera de peixe, carne e aves

O maior uso de processamento de microondas industrial de alimentos tem sido para têmpera de carne e para posterior processamento. Têmpera de microondas é o processo onde a temperatura do produto é gerado a partir da temperatura de

armazenamento (geralmente inferiores a 18 ° C), a uma temperatura um pouco abaixo do ponto de congelamento. Na indústria de transformação de carne, a carne usada é geralmente obtida em blocos congelados de espessura inferior a 18 ° C . A primeira operação nas carnes congeladas geralmente é dado, uma fatia ou separar secções individuais em pequenos pedaços. A operação mecânica requer que os blocos devem temperados no seu estado sólido congelado, até ao ponto onde o corte ou a separação pode ser feita facilmente sem provocar danos ao produto. Existem técnicas convencionais de têmpera com água ou ar, sob a superfície externa do produto, a granel, que se fazem a temperaturas mais elevadas por longos períodos, para o calor penetrar até o centro. Isso resulta em gradientes de temperatura. Além disso, o processo de têmpera convencional leva um longo tempo (vários dias) com perda considerável, especialmente por gotejamento, resultando na perda de proteína, o que representa uma perda económica. Microondas podem facilmente penetrar todo o produto congelado, o que, efectivamente, chegam às regiões internas, dentro de um curto período de tempo. A têmpera de microondas pode ser realizada em poucos minutos para uma grande quantidade de produtos congelados (5-10 min para 20-40 kg). A temperatura à qual um produto deve ser temperada depende do tipo de corte, cortar e cortar, e também na composição do produto, tais como as combinações de água, sais, proteínas e gorduras. As microondas são absorvidas pelo material, a sua intensidade é atenuada pela profundidade de penetração. Camadas superficiais retêm mais energia e aquecem mais rápido em comparação com as regiões internas do produto. O factor de perda aumenta com a temperatura, a superfície do produto aquece mais rápido, e a profundidade de penetração diminui simultaneamente. A menor frequência (915 MHz) tem uma vantagem para a têmpera de produtos de espessura, devido à sua penetração mais profunda e comprimento de onda, em comparação com a maior frequência (2450 MHz), microondas. Actualmente, a maioria das indústrias alimentares utilizam microondas de 915 MHz para efeitos de têmpera , excepto quando a lei não permitir o uso desta frequência. A têmpera de alimentos congelados é realizado tanto em lotes ,como em contínuo sistema de microondas (tipo kW 25-120). Actualmente, os fabricantes criam um sistema escolhendo os clientes, o tipo de produtos alimentares, e aplicações. O processo tem sido utilizado com sucesso por carne, peixe, aves e indústrias de transformação, enquanto a indústria de

laticínios tem explorado a tecnologia para reduzir a probabilidade de rancidez durante o congelamento em massa de manteiga.

Pré - cozinhado de Bacon

Pré-cozinhado de bacon é a segunda maior aplicação de aquecimento por microondas na indústria alimentar. Aquecimento por microondas é encontrado para ser um sistema ideal para cozinhar o bacon em relação ao cozimento convencional. Relata-se que cerca de metade do uso de bacon total é de serviço de comida e praticamente todos, bacon e serviço de comida são pré-cozidos em fornos microondas. Além disso, cerca de 10% do bacon vendidos no supermercado é microondas pré-cozinhados. Como dois componentes alimentares, o bacon perde o componente de gordura, e as características desejáveis / qualidade, rapidamente durante o cozimento. Microondas para aquecimento de bacon produz uma estrutura com menos encolhimento. Mais cedo, uma combinação de energia de microondas e ar quente foi usado num ambiente de microondas. O ar quente foi usado para prender a humidade evaporada durante o cozimento de bacon. Uma combinação de vapor, ar quente e microondas também é usado para cozinhar o bacon. Quantidade suficiente de gordura junto com a humidade presa é removido durante o aquecimento do bacon a temperaturas na faixa de 70°C - 80°C, utilizando vapor. A humidade de presos não se converte em vapor e é, portanto, retirada junto com a gordura. Um sistema completo de microondas também tem sido usado para cozinhar o bacon em série de magnetrons (entrada igual) e, são usados também para aquecer o bacon. A colocação do magnetrons varia com os fabricantes.

Cozinhar da Salsicha

A terceira maior aplicação de processamento de microondas é cozinhar salsicha. A qualidade da salsicha poderia ser melhorada com melhor rendimento, utilizando o processo de microondas. Na culinária a transformação da salsicha através das microondas é usada para reduzir a perda de água, gordura, nutrientes e sabor. Alguns laboratórios têm feito estudos à cerca do processamento da salsicha através das microondas, mas a comercialização não tem tido resultados positivos.

Branqueamento de Legumes

O branqueamento é uma operação da unidade praticado em conserva, desidratação, e a indústria do frio, envolve tempo de exposição, curto prazo do produto para a água fervente, vapor, microondas ou com o propósito principal de inactivar enzimas oxidativas, que de outra maneira podem provocar alterações indesejáveis na cor, sabor e textura do produto durante o armazenamento. Em conserva, que também serve para reduzir a carga microbiana, eliminar o oxigénio dissolvido a partir do produto e facilitar a melhor embalagem do produto em latas. Também foi mostrado para melhorar a cor, sabor e as características organolépticas do produto. Água e vapor são os meios usados para branquear. Branqueamento de vapor de convecção é actualmente o método mais utilizado na indústria alimentar. É relativamente intensiva de energia, e mantém os minerais e vitaminas hidrossolúveis, melhor do que o branqueamento com água. O branqueamento de microondas primeiro foi relatado por Proctor e Goldblith, utilizando 3.000 MHz para alguns vegetais verdes, e apurou-se para reter montantes máximos de vitamina C. A maioria dos resultados indicam que o branqueamento de microondas foi mais eficaz na retenção de vitaminas hidrossolúveis em vegetais, em comparação com métodos convencionais de branqueamento.

Microondas Efeitos sobre a Enzima

As enzimas são provavelmente o sistema mais simples a considerar para estudar os efeitos bio-electromagneticos em sistemas vivos. O efeito das microondas (0.3-300 faixa de frequência GHz) em matéria viva tem sido amplamente estudada, e a maioria dos efeitos observados foram geralmente explicadas com base no aquecimento a granel, ou seja, aumento de temperatura provocado pelo campo electromagnético, de acordo com a teoria clássica dos dieléctricos com perdas. Por outro lado, a evidência dos efeitos de microondas, não só relacionados com temperatura mas como mensuráveis por meios ordinários acumularam nos últimos anos novos mecanismos envolvidos, apesar de estes ainda serem pouco conhecidos devido a dificuldades experimentais e modelagem. A inactivação de várias enzimas como a lipase de gérmen

de trigo, lipoxigenase de soja e pectinametilesterase (PME) a diferentes temperaturas, usando aquecimento convencional de microondas foram estudadas de modo a encontrar as maiores taxas de destruição das enzimas em condições de aquecimento de microondas [24-26]. É tido como certo que estas diferenças possam ser devido a alguns contribuintes reforçados pelos efeitos térmicos das microondas na inativação da enzima.

Puffing

Puffing é uma espuma de aquecimento interno ultra-rápido em que o processo é realizado por microondas e faz espuma, quando a taxa de transferência de calor é ainda maior do que a taxa de transferência de vapor de fora do interior do produto. As microondas são ideais para a produção de salgadinhos inchados.

Concentração

A concentração do aquecimento por microondas também tem sido utilizada para concentrar calor sensível, soluções e lamas a temperaturas relativamente baixas. O processo também é aplicável aos altamente corrosivos ou soluções viscosas.

Desenvolvimento recente no microondas e embalagem de alimentos

Recentemente, os processadores de alimentos desenvolveram muitos alimentos de nova geração de microondas com os materiais de embalagem adequados para atender a essas demandas. Os alimentos para aquecimento em microondas são para utilizar em casa como fora de casa, através da loja de conveniência ou microondas escritório. Em muitos casos, as dobradiças dos produtos têm sido um sucesso de uma combinação de reformulação de produtos e redesenho do pacote. Polipropileno de alta densidade (PDPH) é uma solução de baixo custo para o processo de microondas entre os materiais que podem suportar a temperatura alvo. Para a esterilização, PET, PDPH, e vários materiais a base de poliéster estão disponíveis como bandejas de alta qualidade, bolsas e malas. O vidro também é uma possibilidade. A tampa de metal em frasco de vidro na verdade provou ser uma vantagem. Alguns dos novos produtos já

disponíveis no mercado incluem Eggology's On-the-go 100 ovos brancos%, e Marks and Spencer's Steam Cuisine. O produto para ser aquecido por micro-ondas expande durante o cozimento e a tampa desaparece automaticamente. Outra reivindicação é para desenvolver "a tecnologia da cozinha inteligente dupla pressão", onde nos primeiros passos o aquecimento por microondas passa através da embalagem especialmente desenvolvida e os materiais dos alimentos congelados. A água congelada torna-se vapor e cozinha o alimento de dentro para fora. Na próxima fase os vapores saem dos tecidos dos alimentos, e são segurados e mantidos dentro da embalagem. Grandes nomes como Kraft desenvolveram muitos novos materiais de embalagem que pode ser usado no aquecimento da pizza de microondas. Outro desenvolvimento nos alimentos microondas tem sido relatado através da introdução de aroma no material de embalagem. O aroma é liberado durante o aquecimento de microondas de materiais embalados. No futuro, podemos esperar mais revolução no design da embalagem de microondas para satisfazer as demandas intermináveis dos consumidores.

Pasteurização e esterilização de microondas

A Esterilização é o processo que utiliza um tratamento térmico relativamente suave aos alimentos para matar agentes-chave e inactivar bactérias vegetativas e enzimas para produzir alimentos seguros para o consumo. Mais frequentemente, leite e sumos de frutas frescas são pasteurizados de modo a eliminar possíveis perigos para a saúde. No entanto, o tratamento térmico dado não mata os esporos de bactérias e, portanto, o produto não é estável à temperatura ambiente. Sob condições de armazenamento refrigerado, pode-se esperar 2-6 semanas na prateleira. Recentemente, o processo foi actualizado para remover os riscos potenciais para a saúde devido a *Salmonella*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*. A pasteurização do leite é realizada por 30 min aquecendo a 63 ° C ou durante 15 s a 72 ° C. Muito altas temperaturas são usadas nos processos HTST e ultra-alta temperatura (UHT). As temperaturas e os tempos são determinados pelos patógenos resistentes ao calor que são necessários destruir. Após a pasteurização, o produto é então rapidamente arrefecido até 4 ° C. As temperaturas de pasteurização e tempos variam, dependendo da natureza do produto

e do organismo-alvo. A esterilização é um tratamento mais severo. Tradicionalmente, o processo é concebido para alcançar a esterilidade comercial do produto, dando-lhe a estabilidade de conservação a longo prazo. A magnitude do tratamento térmico é uma função do pH, e as contas para os efeitos do pH na resistência térmica dos esporos microbianos. Alimentos com pH elevado (4,5) apoiam o crescimento de *Clostridium botulinum* que produz uma toxina. É geralmente reconhecido que um tratamento térmico suficiente para eliminar toxinas produtoras *C. botulinum* nos alimentos deve fazer o alimento comercialmente estéril, se forem adequadamente embalados no vácuo, a recontaminação é impedida. Geralmente, o vapor saturado a pressões elevadas (135 ° C-140 ° C) e o vapor de água quente aquecida são utilizados como meios de aquecimento para a esterilização de alimentos. A esterilização por microondas tem sido estudada para potenciais aplicações comerciais. No entanto, a comercialização tem enfrentado vários problemas com sucesso limitado. Tanto a pasteurização como a esterilização são baseadas no tempo em combinação com a temperatura dos processos aplicados aos produtos alimentares para atingir a letalidade alvo. Na maioria dos casos, os microrganismos alvo são escolhidos para tipos específicos de alimentos. A cinética de morte dos microrganismos desempenha um papel fundamental na escolha do destino de letalidade e, portanto, a quantificação e acomodação da cinética de destruição microbiana são passos importantes para estabelecer o processo térmico.

Cinética de Destruição microbiana

A destruição de microrganismos e a inactivação de enzimas são geralmente expressas por uma reacção química de ordem

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n$$

Onde:

- dc/dt é a variação da população microbiana (C ou N) com o t (tempo),
- k é a taxa de reacção constante e
- n a ordem da reacção

A destruição de microrganismos é descrita pela cinética de uma reacção de primeira ordem. Os microrganismos tem uma resistência térmica que é necessário ter em conta na transformação dos alimentos, esta resistência térmica é caracterizada através do tempo de redução decimal (valor D, que é o tempo de aquecimento a uma dada temperatura para destruir 90% da população microbiana existente) e a ainda a resistência térmica constante (valor Z).

O tempo necessário para o tratamento térmico de um dado alimento, tendo em conta a resistência térmica do microrganismo é calculado através da integração da relação tempo-temperatura, utilizando a equação anterior. Existe um conceito semelhante que permite determinar os parâmetros de cinética durante o aquecimento.

Os valores de D podem ser calculados:

$$D = \frac{T_{eff}}{\text{Log} \left(\frac{C_0}{C} \right)}$$

onde:

- T_{eff} tempo efectivo (semelhante ao F)
- T_r temperatura de saída do produto
- C concentrações

A utilização desta forma é limitada relativamente ao efeito microondas. No entanto, tal como na destruição térmica e cinética de microondas, a destruição de componentes alimentares, tais como características de qualidade, enzimas e microrganismos são necessários para estabelecimento do processo por microondas.

Sistemas de aquecimento microondas – Aquecimento em lote

Processo descontínuo – A amostra do alimento é colocada no forno durante um tempo pré-determinado até atingir a temperatura alvo/desejada. O nível de potência é ajustado de modo a alcançar a diferença de temperatura desejada num determinado período de tempo (tempo já determinado). O calor volumétrico absorvido pelo alimento durante o aquecimento microondas pode ser calculado, utilizando a seguinte relação e assumindo que não há perda de calor circundante.

$$Q = mC_p(T_f - T_i)$$

Onde:

- m massa do alimento (Kg)
- c_p calor específico (Kj Kg^o/C)
- T_f temperatura final (°C)
- T_i temperatura inicial (°C)

A potência de microondas absorvida (P) pode ser calculado pelo calor volumétrico dividido pelo tempo de aquecimento. A potência é comparada com a saída de microondas nominal para calcular a eficiência, em média 90% da potência nominal pode ser explicada pela utilização de uma grande amostra.

Aquecimento de fluxo contínuo

O processamento térmico por microondas oferece potenciais benefícios para a indústria de processamento de alimentos devido ao aquecimento rápido e à capacidade das microondas penetrarem no alimento e, assim, alcançar um aquecimento mais eficaz. Os sistemas contínuos tem vantagens sobre os lotes com maior produtividade, visto que é mais fácil de limpar e de automação. O fluxo contínuo



de aquecimento por microondas tem sido utilizado para alimentos líquidos com diferentes configurações.

O diagrama esquemático de um microondas básico para aquecimento de fluxo contínuo e mostrado na figura que se segue. O

fluido é bombeado (bomba

peristáltica), através de um teflon ou vidro, bobinas helicoidais colocado dentro de um ou vários fornos de microondas ligado em série para aquecimento. Já fora do forno de microondas o líquido passa por uma secção de exploração onde permanece durante um tempo pré definido seguindo depois para a refrigeração. A temperatura do fluido na secção de exploração é mantida por meios externos, e em alguns casos a temperatura de saída é elevada para um a temperatura superior ao necessário para permitir a perda de calor através dos tubos de exploração isolada. No entanto, o tempo de perfil de temperatura na maioria dos casos é gerado por um de transição de medição de temperatura em regiões seleccionadas.

- **Leite**

O leite é tradicionalmente pasteurizado num trocador de calor de calor antes de chegar ao consumidor. A utilização de microondas na pasteurização do leite tem sido uma prática estudada e aplicada a nível comercial. O sucesso do aquecimento do leite por microondas é estabelecido com base nas condições que proporcionem o grau de segurança desejado e com degradação mínima do produto para que este se mantenha com qualidade. A utilização de microondas na pasteurização do leite tem sido estudado e investigado, de modo a, a conseguir saber se é possível aumentar o tempo de prateleira do leite pasteurizado e para inactivação de microrganismos patogénicos no leite, e ainda avaliar a influencia sobre os nutrientes e ainda e se a distribuição da temperatura é uniforme durante o tratamento com microondas. O tratamento de fluxo contínuo foi proposto para a pasteurização do leite devido às suas vantagens sobre o sistema tubular e trocador de calor por placas. O leite após a aplicação do tratamento por microondas apresenta características muito semelhantes ao do leite tratado pelo método convencional, tal como a níveis sensoriais, desnaturação de proteínas e do soro, etc. Podendo-se assim dizer que o método da pasteurização por microondas pode ter uma aplicabilidade viável no leite.

Efeito sobre os nutrientes do leite

O leite é um alimento rico em vitaminas e sendo assim o tratamento térmico pode afectar alguns nutrientes. O efeito do aquecimento por microondas sobre várias vitaminas do leite de vaca, tem sido estudado. E foi deste estudo que se retirou a conclusão que o processo de microondas não oferece nenhum aspecto adicional em comparação com o tratamento convencional no que diz respeito à retenção de vitaminas. Pode-se então dizer que o aquecimento do leite por microondas não afecta as proteínas nem os componentes de gordura e os componentes voláteis não diferenciam.

- **Sumos de frutas**

Os sumos de frutas não são veículos transmissores de doenças provocadas por microrganismos, porque são alimentos ácidos. Apesar disso existe a possibilidade de proporcionarem o desenvolvimento de patogénicos.

A inativação de microrganismos e enzimas dos sumos de frutas, como por exemplo os de citrinos pela pasteurização por microondas, especialmente em sistemas de fluxo contínuo proporciona uma menor exposição térmica do produto, a eliminação de incrustações na linha de tubos e mantém a qualidade do produto, diminuindo a deterioração do sumo pelas enzimas.

- **Pronto a comer**

As refeições congeladas e prontas a consumir tal como a tecnologia de processamentos destes alimentos tem expandido rapidamente nos últimos anos. A pasteurização deste género de comidas prontas a comer é feita por microondas. No entanto a adopção desta tecnologia pela indústria de processamento de alimentos tem sido lenta devido à incerteza das tendências no mercado dos alimentos refrigerados devido à vida útil prolongada e também das limitações técnicas ligadas a este processo. Neste sentido também foi necessário o desenvolvimento de embalagens adequadas ao tratamento térmico por microondas.

Limitações no uso de microondas na esterilização

O aquecimento por microondas tem sido estudado intensivamente nos sectores académicos como no industrial. A comercialização do processo foi um sucesso limitado. A principal desvantagem na esterilização por microondas é a indisponibilidade do perfil de temperatura real, isto é, as medições de temperaturas em alguns locais do alimento não garantem a distribuição real desta durante o processo de aquecimento por microondas. Como o perfil de aquecimento pode ser desigual é difícil de prever algumas alterações durante o aquecimento. Por outro lado não é seguro dizer que o processo retarda a degradação da qualidade dos produtos

alimentares. A cinética de gradação do alimento depende de vários factores como a natureza dos produtos alimentares, a geometria dos alimentos, as propriedades dieléctricas. A novidade do processo de esterilização de microondas depende da selecção adequada dos equipamentos e embalagens, factores estes que podem garantir o sucesso do processo na indústria alimentar. Para que o processo de esterilização por microondas seja bem desenvolvido e credível é muito importante e necessário material adequado de barreira a embalagens.

Recomendações para a pasteurização e esterilização por microondas

Com base em experiências e resultados de investigação de vários especialistas no domínio da tecnologia microondas aplicada aos alimentos em 2002 sugeriram algumas recomendações para melhorar a transferência de calor e de gestão de temperatura no aquecimento por microondas:

- 1) A distribuição da temperatura nos alimentos durante após o aquecimento por microondas é diferente do método convencional de aquecimento. Portanto, a temperatura deve ser medida com várias técnicas para obter um registo mais confiável da distribuição da temperatura. A temperatura deve ser medida em tantos pontos quanto possível para se obter informações mais precisas acerca da temperatura durante o processamento térmico de microondas.
- 2) A informação sobre o ponto mais frio e a sua localização é muito importante para segurança microbiológica dos alimentos esterilizados.

- 3) A uniformidade do aquecimento microondas depende da colocação/posição (tem o efeito mais significativo) do alimento, da sua geometria e da embalagem. A distribuição da temperatura deve ser equilibrada.
- 4) A combinação do modelo térmico e a cinética electromagnética deve ser usada para descrever a esterilização microondas de uma forma abrangente. A transferência de calor e electromagnetismo são importantes considerando mudanças significativas nas propriedades dieléctricas durante o aquecimento dos alimentos.
- 5) O tempo real de temperatura na esterilização varia espacialmente de forma muito significativa. A não uniformidade espacial na esterilização e as suas alterações transitórias podem ser melhoradas significativamente alterando as propriedades dieléctricas do produto em função da sua composição (o efeito do sal é muito acentuado).
- 6) Para melhorar a eficiência do aquecimento de microondas e as características sensórias do alimento deve-se combinar microondas com outro modo de aquecimento por exemplo com de infra-vermelhos.
- 7) A aplicação de energia de microondas com uma frequência mais baixa (900 MHz) iria mostrar a profundidade de penetração nos materiais como os alimentos.

Conclusão

A utilização de energia por microondas tem vantagens sobre o aquecimento convencional. A aplicação da energia de microondas para a pasteurização e esterilização, tem sido estudado ao longo de meio século, com algum sucesso comercial. Alguns pesquisadores afirmam melhores efeitos térmicos sobre a destruição de microrganismos e inactivação de enzimas, apesar de o tema ainda gerar controvérsia.

A pasteurização por microondas de fluxo contínuo poderia ser usada para o processamento de leite e sumos. A pasteurização por microondas para refeições pronto a comer foi proposta para ser um grande sucesso comercial nos países europeus, porque os E.U ainda não adoptaram totalmente a tecnologia. A substituição do aquecimento convencional por fonte de energia microondas não é possível antes de se compreender totalmente o aquecimento real e o mecanismo de inactivação e distribuição de temperatura nos alimentos de várias camadas e outros factores.

Actualmente tem se dado mis importância à esterilização de alimentos sólidos utilizando a energia microondas. Equipamentos de microondas de tamanho comercial, são agora disponíveis para a pasteurização e esterilização. Algumas das razões para a falta de sucesso comercial na tecnologia são a sua complexidade, gastos elevados, não uniformidade do aquecimento, a incapacidade de garantir a total esterilização do pacote/embalagem, a falta de embalagens adequadas, e o preço do produto desfavorável em relação aos alimentos preparados congelados nos países desenvolvidos.

Bibliografia

- ♣ Sinterização de cerâmica em microondas [Em linha]. [Consul. 18 de Dezembro de 2009]. Disponível em WWW: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132007000100002&script=sci_arttext&lng=en
- ♣ Caracterização dieléctrica do feijão verde na frequência de microondas [Em linha]. [Consul. 18 de Dezembro de 2009]. Disponível em WWW: <http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/13/13-693-823.htm>
- ♣ Microondas[Em linha]. [Consul. 18 de Dezembro de 2009]. Disponível em WWW: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Micro-ondas>
- ♣ Espectro electromagnético[Em linha]. [Consul. 18 de Dezembro de 2009]. Disponível em WWW: http://nautilus.fis.uc.pt/wwwfi/hipertextos/espectro/hiper_espectro_mo.html
- ♣ Ondas electromagnéticas microondas [Em linha]. [Consul. 18 de Dezembro de 2009]. Disponível em WWW: http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://www.diaadia.pr.gov.br/tvpendrive/arquivos/File/imagens/5fisica/8espectroeleetro.jpg&imgrefurl=http://www.diaadia.pr.gov.br/tvpendrive/modules/mylinks/viewcat.php%3Fcid%3D48%26min%3D90%26orderby%3DdateD%26show%3D10&usg=__Nww_B6KHkyiRjhJjQFDCK-VloXw=&h=480&w=720&sz=79&hl=pt
- ♣ Ramaswamy ,Jasim Ahmed and Hosahalli S. -*Microwave Pasteurization and Sterilization of Foods*.Capítulo 28, 2ªedição.Pág.692 702