REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0014974-8

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0014974-8

(22) Data do Depósito: 20/10/2000

(43) Data da Publicação do Pedido: 26/04/2001

(51) Classificação Internacional: G01N 23/087

(30) Prioridade Unionista: 21/10/1999 DK PA 1999 01512

(54) Título: "MÉTODO E APARELHO DE DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES DE UM MEIO DE ALIMENTO OU RAÇÃO E MÉTODO PARA A CALIBRAÇÃO DE APARELHO"

(73) Titular: FOSS ANALYTICAL A/S, Sociedade Dinamarquesa. Endereço: Foss Alle 1, Denmark, Hilleroed, Dinamarca (DK).

(72) Inventor: PER WAABEN HASEN

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 23/06/2015, observadas as condições legais.

Expedida em: 23 de Junho de 2015.

Assinado digitalmente por:

Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO E APARELHO DE DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES DE UM MEIO DE ALIMENTO OU RAÇÃO E MÉTODO PARA A CALIBRAÇÃO DE APARELHO**".

Campo Técnico

A presente invenção refere-se a uma análise por raios X e, mais especificamente, à determinação de propriedades de alimentos ou de alimentação, tal como o teor de gordura de carnes.

Fundamento da Técnica

A análise por raios X, para a determinação do teor de gordura de carnes tem sido conhecida por vários anos. Esses exemplos são descritos em numerosos documentos. A US 4.168.431 (Henriksen) mostra uma análise por raios X de múltiplos níveis, para a determinação da percentagem de gordura. O aparelho inclui pelo menos três feixes de raios X em diferentes níveis de energia. A DK PS 172 377 B1 mostra meios de detecção para raios X, bem como um sistema para determinação de propriedades de um item, por meio do uso de raios X. O sistema opera em um nível de energia único, e aplica dois meios de detecção separados por um material de atenuação de raios X.

A WO 92/05703 mostra um método e um dispositivo para o corte de produtos alimentícios. O posicionamento de cortes adequados é guiado pelo uso de uma varredura com raios X, que mostra a distribuição do tipo de tecido no produto. A US 5.585.603 mostra um método e um sistema para a pesagem de objetos, usando raios X. Uma análise contínua por raios X para um sistema de mistura de carne é conhecido a partir da US 4.171.164 (Groves et al.). As percentagens de gordura em dois fluxos de carne são determinadas passando-se um feixe de raios X policromáticos através dos fluxos, medindo-se ambos os feixes incidente e atenuado. A US 4.504.963 mostra um aparelho, um sistema e um método para a determinação da percentagem de gordura em uma amostra de carne, através do uso de técnicas de radiação com raios X. Uma calibração automática é obtida, pelo uso de três feixes incidentes, todos ao mesmo nível de energia. A validação da compo-

sição do corpo por absorciometria de raios X de energia dupla é descrita em Clinical Physiology (1991) 11, 331-341 (J. Haarbo, A. Gotfredsen, C. Hassager e C. Christiansen). Estudos adicionais sobre corpos são reportados em Am J. Clinical Nutrition 1993: 57: 605-608. (Ole Lander Svendsen, Jens Haarbo, Christian Hassager e Claus Christiansen).

Recentemente, uma análise de carne foi reportada em Meat Science Vol. 47, No 1/2, 115-124, 1997 (A. D. Mitchell, M. B. Solomon & T. S. Rumsey).Um estudo completo de carcaças de porco, pelo uso de absorciometria de raios X de energia dupla foi reportado por P Elowsson et al. (1998), J. Nutr. 128 1543-1549, An Evaluation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Underwater weighing to estimate Body Composition by means of carcass Analysis in Piglets. (p. 1543, I&r. col.; p. 1544, I.col.; p. 1547, I. col.). Uma outra análise de carcaças de porco é reportada por Mitchell et al., J. Anim. Sci. (1998), vol. 76, pp. 2104-2113. Entretanto, à página 2113 desta análise, é especificamente concluído que a análise por raios X é muito lenta para compatibilidade com um processamento em linha. Nada na técnica anterior mencionada acima, até agora, levou a um aparelho eficiente que preencha as necessidades em um matadouro. Geralmente, a técnica anterior mostra dificuldades, quando da medição de camadas de espessura variável, especificamente, camadas finas adjacentes a camadas espessas. Adicionalmente, a técnica anterior é incapaz de medir e prover resultados tão rápido quanto o requerido para ser útil para um processamento em linha. O aparelho presentemente aplicado na maioria dos matadouros é um Analisador de Gordura Contínuo (Wolfking A/S, Dinamarca) e Infratec 1265 (Foss Tecator AB, Suécia), usando tecnologia NIR. Também é aplicado Anyl-Ray (The Kartridg Pak Co., Iowa), que usa raios X de energia única em uma amostra de peso ou volume bem definido.

É um objeto da presente invenção prover um método e um aparelho que permitam uma determinação mais rápida e mais precisa do que a conhecida até agora, do teor de gordura em um alimento ou em um produto alimentício, tal como um lote de aparas de carne, permitindo a criação de produtos específicos (tais como salsichas ou carne moída), tendo um teor de

gordura desejado, a qual é muito mais precisa do que o presentemente possível.

A presente invenção também aplica uma análise de regressão e uma calibração de múltiplas variáveis. Essa análise é conhecida, por exemplo, a partir da própria WO 95/16201 do requerente, que mostra a determinação de água externa em amostras de leite, usando uma análise de regressão e uma calibração de múltiplas variáveis. Adicionalmente, a WO 98/43070 do requerente mostra a medição de acetona no leite, usando espectroscopia de IR e calibração de múltiplas variáveis. A US 5.459.677 mostra uma transferência de calibração para instrumentos analíticos. A WO 93/06460 do requerente mostra um sistema de medição de atenuação de infravermelho, que inclui um processamento de dados baseado em técnicas de calibração de múltiplas variáveis, e a US 5.252.829 do requerente mostra uma determinação de uréia no leite com acurácia melhorada, usando pelo menos parte de um espectro de infravermelho.

Exposição da Invenção

A presente invenção refere-se a um método de determinação de propriedades de um meio de alimento ou de alimentação, tal como o teor de gordura da carne, pelo uso de absorciometria de raios X dupla, o meio sendo uma matéria-prima de alimento ou de alimentação, um produto ou um produto intermediário de alimento ou alimentação, ou um lote ou uma seção do mesmo, o método compreendendo - substancialmente varrer todo o meio pelos feixes de raios X, que têm pelo menos dois níveis de energia, incluindo um nível baixo e um nível alto, - detecção dos feixes de raios X tendo passado através do meio, para uma pluralidade de áreas (pixels) do meio, - para cada área, calcular um valor, A_{low}, que representa a absorbância na área do meio no nível baixo de energia, - para cada área, calcular um valor, A_{high}, que representa a absorbância na área do meio no nível alto de energia, caracterizado para cada área pela geração de uma pluralidade de valores sendo produtos do tipo $A_{low}^{n} * A_{high}^{m}$, onde n e m são números inteiros positivos e/ou negativos ou zero, e previsão das propriedades do meio nesta área, pela aplicação de um modelo de calibração à pluralidade de valores, onde o

modelo de calibração define relações entre a pluralidade de valores e propriedades do meio.

A vantagem em relação à técnica anterior é uma determinação mais acurada das propriedades, tal como do teor de gordura no meio. A acurácia é especificamente melhorada em relação à técnica anterior quando da medição de camadas de espessuras variáveis. Uma outra vantagem é devido ao fato de, ao se usar o método de acordo com a invenção, praticamente todo o produto ser medido, ao invés de uma amostragem. Geralmente, quando do uso de amostragem em um meio não homogêneo, a extração de uma amostra introduzirá um erro, porque a amostra pode não ser representativa.

Preferencialmente, a pluralidade de valores inclui valores A_{low}^{n1} / A_{high}^{m1}, onde n1 e m1 são números inteiros positivos. Mais ainda, é preferido que a pluralidade de valores inclua os valores A_{low}, A_{high}, A_{low}^2, A_{high}^2, e A_{low} / A_{high}, e/ou pelo menos um dos valores $A_{low} * A_{high}$; $A_{low}^2 * A_{high}$; $A_{low} * A_{high}^2$ e/ou pelo menos um dos valores $A_{low} * A_{high}$; $A_{low}^2 * A_{high}$; $A_{low} * A_{high}^2$; $A_{low} * A_{high}^4$ e $A_{low}^2 * A_{high}^4$ e/ou pelo menos um dos valores A_{low}^2 / A_{high}; A_{low} / A_{high}^2 e A_{low}^2 / A_{high}^2; A_{low}^3 / A_{high}^2; A_{low}^4 / A_{high}^2; $1/ A_{high}^4$; A_{low}^4 / A_{high}^3; A_{low}^3 / A_{high}^4 e A_{low}^4 / A_{high}^4. Experimentos práticos mostraram que esses valores contribuem consideravelmente para a melhoria da acurácia.

Preferencialmente, o modelo de calibração é obtido pelo uso de um método de regressão, que é incluído no grupo que compreende Regressão de Componente Principal (PCR), Regressão Linear Múltipla (MLR), regressão de Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Redes Neurais Artificiais (ANN).

A presente invenção ainda refere-se a um aparelho para a determinação de propriedades de um meio, tal como o teor de um componente no meio, o meio compreendendo uma matéria-prima de alimento ou de alimentação, um produto ou um produto intermediário de alimento ou de alimentação, ou um lote, uma amostra ou uma seção do mesmo, o aparelho compreendendo meios 12, 14 para a emissão de pelo menos dois feixes de raios X 16, 18 em dois níveis de energia diferentes, recursos de direciona-

mento dos pelo menos dois feixes de raios X em direção e através do meio, meios de detecção de raios X 22, 24, que cobrem uma pluralidade de áreas para a detecção dos dois feixes 16, 18, após passarem através do meio, meios 27, 28, 34, 35 para a transferência e a conversão de sinais de saída dos meios de detecção 22, 24 em um conjunto de dados digitais para entrada em um meio de processamento de dados 38, para o recebimento, o armazenamento e para o processamento dos pelo menos dois conjuntos de dados representando imagens de raios X nos pelo menos dois níveis de energia diferentes, o aparelho ainda compreendendo meios para a sincronização dos pelo menos dois conjuntos de dados e os meios de processamento de dados incluindo meios para o cálculo de valores que representam as absorbâncias (A_{low}, A_{high}) em cada área do meio nos pelo menos dois níveis de energia, *caracterizado pelo fato de* os meios de processamento de dados compreenderem meios para a geração de uma pluralidade de valores sendo produtos do tipo $A_{low}^{n} * A_{high}^{m}$, onde n e m são números inteiros positivos e/ou negativos ou zero, e recursos de previsão das propriedades do meio nesta área, pela aplicação de um modelo de calibração à pluralidade de valores, onde o modelo de calibração define relações entre a pluralidade de valores e propriedades do meio.

A vantagem em relação à técnica anterior é uma determinação mais rápida e mais acurada, a qual também é tão rápida que pode ser aplicada continuamente em uma linha de processo em um matadouro.

Preferencialmente, o meio é disposto em um transportador que se move a uma velocidade substancialmente constante, e pelo menos dois raios X são em formato de leque, e o feixe de nível baixo é detectado por um primeiro arranjo linear, que é dedicado à detecção do feixe de energia baixa, e o feixe de nível alto é detectado por um segundo arranjo linear, que é dedicado à detecção do feixe de energia alta, cada um compreendendo uma pluralidade de pixels.

Preferencialmente, o aparelho compreende:

pelo menos uma fonte de raios X de energia baixa 12, disposta acima do meio 20, para a provisão de um feixe de energia baixa em formato

de leque 16, que cobre substancialmente a largura do meio, e pelo menos uma fonte de raios X de energia alta 14, disposta acima do meio 20, para a provisão de um feixe de energia baixa em formato de leque 16, que cobre substancialmente a largura do meio 20, e um primeiro meio de detecção de raios X 22, disposto para ser exposto ao feixe de energia baixa em formato de leque 16 e abaixo do meio 20, um segundo meio de detecção de raios X 24, disposto para ser exposto ao feixe de energia alta em formato de leque 18 e abaixo do meio 20, e meios eletrônicos 34, 38, 42, que incluem o meio de processamento de dados 38 e se comunicam com os detectores 22, 24 e dispostos para o armazenamento e o processamento de dados que representam sinais a partir dos meios de detecção 22, 24, e ainda compreendendo meios 10 para mover o meio 20 em relação aos feixes de raios X 16, 18 ou vice-versa.

Preferencialmente, o aparelho compreende meios de processamento de dados que incluem e/ou se comunicam com meios que incluem meios de armazenamento de dados, que compreendem um modelo de calibração preparado pelo uso de métodos de calibração de múltiplas variáveis, tais como Redes Neurais Artificiais (ANN), ou regressão PCR, MLR ou de PLS.

Preferencialmente, o aparelho compreende pelo menos duas fontes 12, 14, que emitem raios X de dois níveis diferentes de energia.

Preferencialmente, o aparelho compreende os dois níveis de energia que compreendem um nível de energia baixo em uma faixa entre 35 e 75 keV, preferencialmente, entre 45 e 70 keV e mais preferido, cerca de 62 keV, e um nível de energia alto em uma faixa entre cerca de 60 e 140 keV, preferencialmente, entre 80 e 130 keV e, mais preferido, cerca de 120 keV.

Preferencialmente, o aparelho compreende meios de filtro localizados em cada um dos feixes 16, 18.

Preferencialmente, o aparelho compreende uma fonte de raios X e dois meios de filtro que dividem o feixe em dois feixes de raios X em dois níveis de energia diferentes.

Preferencialmente, o aparelho compreende meios 12, 14 para a

emissão de pelo menos dois feixes de raios X, os recursos de direcionamento de pelo menos dois feixes de raios X e os meios de detecção de raios X 22, 24 serem mutuamente fixos.

Preferencialmente, o aparelho compreende meios 12, 14 para a emissão de feixes em formato de leque espacialmente separados 16, 18.

Preferencialmente, o aparelho compreende meios de detecção 22, 24 a serem cobertos por uma camada de cintilação, por exemplo, telureto de cádmio, iodeto de mercúrio, e/ou oxissulfeto de gadolínio.

Preferencialmente, o aparelho compreende um meio transportador 10, disposto para portar o recipiente de meio 20, tal como uma bandeja ou uma caixa aberta, adaptada para acomodar um número aleatório de pedaços de carne de vários tamanhos a serem analisados, o meio transportador sendo disposto para deixar o recipiente de meio 20 passar por pelo menos dois feixes de raios X em formato de leque 16, 18.

Preferencialmente, o aparelho compreende um meio transportador 10, em que a cinta transportadora é feita a partir de um material que mostra uma baixa absorção de raios X, e/ou é dividido em duas partes separadas espaçadas, os meios detectores 22, 24 sendo dispostos em um espaço aberto entre as duas partes.

Preferencialmente, o aparelho compreende um meio transportador 10 adaptado para acomodar um fluxo contínuo de pedaços de carne de vários tamanhos a serem analisados, o meio transportador sendo disposto para deixar os pedaços de carne passarem por pelo menos dois feixes de raios X em formato de leque 16, 18.

O aparelho é disposto para a execução das etapas a seguir: varrer pelo menos uma seção de um meio com feixes de raios X, que têm pelo menos dois níveis de energia, armazenar os dados que representam pelo menos duas imagens de raios X do meio, calcular o teor de gordura e/ou a densidade em área para todos os pontos (pixels) obtidos a partir da varredura, pelo uso de modelos de calibração de múltiplas variáveis, gerados em uma etapa de calibração realizada previamente, multiplicação do teor de gordura e da densidade em área em cada ponto, de modo a gerar um "mapa

de gordura" (em g/cm^2) da amostra, adicionar todos os pontos no "mapa de gordura", para dar o peso total de gordura (F_{total}) da amostra, adicionar todas as densidades em área para a amostra, para dar o peso total (W_{total}) da amostra, calcular o teor médio de gordura da amostra como a relação F_{total}/W_{total}.

A presente invenção ainda se relaciona a um método para a calibração de um aparelho compreendendo a preparação de uma pluralidade de amostras de calibração, que consistem em produtos específicos de alimento ou de alimentação, tais como carne de porco moída, de várias alturas e propriedades bem definidas, a medição da pluralidade de amostras de calibração no aparelho, desse modo obtendo-se dados que representam duas respostas de raios X de cada amostra, cada resposta compreendendo uma pluralidade de pixels, em que os dados de cada pixel, ou a média do número de pixels vizinhos, são processados usando-se as fórmulas:

$$A_{low} = -\log_{10}\left[\frac{I_{sample}(low) - I_{dark}(low)}{I_{air}(low) - I_{dark}(low)}\right]$$

$$A_{high} = -\log_{10}\left[\frac{I_{sample}(high) - I_{dark}(high)}{I_{air}(high) - I_{dark}(high)}\right]$$

ou expressões similares, para o cálculo de valores que representam a absorbância em uma área do meio acima de um pixel ou de um número de pixels vizinhos, a geração de uma pluralidade de valores do tipo $A_{low}^{n} * A_{high}^{m}$, em que n e m são números inteiros positivos e/ou negativos ou zero, a correlação - pelo uso de métodos de calibração de múltiplas variáveis, tais como Redes Neurais Artificiais (ANN), ou regressão PCR, MLR ou de PLS - do conjunto de dados para todos / ou uma pluralidade de amostras de calibração às propriedades determinadas por outros meios, tal como um método de referência, - de modo a determinar um número de coeficientes de calibração, provendo-se um modelo de calibração, que compreende o número de coeficientes de calibração determinados.

Preferencialmente, todas as amostras de calibração são preparadas de maneira tal que elas sejam homogêneas e de densidades em área

fixas, e, ainda, pelo cálculo da média de cada um dos valores por todos os pixels pelo menos em uma porção definida das imagens.

A invenção ainda refere-se a um método de previsão do teor de gordura da carne, compreendendo o uso de um modelo de calibração obtido por um método. A invenção também refere-se a um aparelho que compreende um modelo de calibração determinado por um método.

Pelo uso da presente invenção, é possível - de forma mais acurada e mais rápida do que a até agora conhecida - determinar o teor de gordura de um número aleatório de pedaços de carne (tais como aparas ou cortes) de vários tamanhos em um recipiente (ou um meio similar para o envolvimento ou o transporte de uma carga de carne) ou diretamente em uma cinta transportadora. A medição pode ser realizada em um tempo razoavelmente curto, tal como uns poucos segundos, por exemplo, cerca de 4,5 ou 9 segundos por recipiente, cada recipiente tendo um volume de, por exemplo, cerca de 0,1 m^3. Preferencialmente, um volume menor, por exemplo, cerca de 25 kg de carne, é disposto em cada recipiente. Assim sendo, o método e o aparelho podem ser aplicados para um controle em linha da produção de vários produtos de carne, tal como carne moída, e, mais especificamente, quando carne moída for produzida a partir de aparas de carne de vários tamanhos.

De acordo com o melhor conhecimento do requerente, técnicas de calibração de múltiplas variáveis nunca tinham sido aplicadas a uma análise por raios X de carne, nem a uma análise por raios X em geral. O uso de técnicas de múltiplas variáveis resolve um problema específico presente quando do uso de técnicas de acordo com a técnica anterior. O aparelho conhecido se torna altamente impreciso, quando da medição de uma combinação de camadas finas e espessas. Quando da medição de pedaços de carne de vários tamanhos, a espessura das camadas através das quais os raios X têm de passar variará consideravelmente, de 0 ou quase 0 até um máximo especificado. O uso de uma pluralidade de valores permite uma melhor precisão dessas medições do que a até agora conhecida.

Breve descrição dos desenhos

A Figura 1 mostra como um exemplo um sistema de acordo com a invenção.

A Figura 2 mostra uma modalidade preferida do aparelho de raios X de acordo com a invenção.

A Figura 3 mostra uma simulação de um sistema, que compreende uma fonte e uma combinação de dois filtros.

A Figura 4 mostra previsões de gordura por raios X de validade cruzada versus o teor de gordura de referência de 32 amostras de calibração, quando da execução de uma regressão variável única simples de A_{low} / A_{high} contra o teor de gordura de referência das amostras.

A Figura 5 mostra previsões de gordura por raios X de validade cruzada versus o teor de gordura de referência de 32 amostras de calibração, quando da execução de uma calibração de PLS com 5 fatores de PLS (baseado em 11 variáveis), contra o teor de gordura de referência das amostras.

A Figura 6 mostra densidades em área de raios X de validade cruzada versus a densidade em área de 32 amostras de calibração, quando da execução de uma regressão de variável única simples de A_{high} contra as densidades em área de referência das amostras.

A Figura 7 mostra densidades em área de raios X de validade cruzada versus a densidade em área de 32 amostras de calibração, quando da execução de uma calibração de PLS com 1 fator de PLS (com base em 2 variáveis) contra as densidades em área de referência das amostras.

A Figura 8 mostra a Gordura prevista por raios X em 99 pontos de uma amostra de carne.

A Figura 9 mostra a densidade em área prevista por raios X em 99 pontos de uma amostra de carne.

A Figura 10 mostra a Gordura (em g/cm^2) prevista pela multiplicação do teor de gordura (Figura 8) pela densidade em área (Figura 9) em 99 pontos de uma amostra de carne.

A Figura 11 mostra um fluxograma, que ilustra o processo de medição.

A Figura 12 mostra uma amostra de carne típica em um recipiente de plástico.

A Figura 13 mostra uma imagem de transmissão de raios X de energia baixa típica de uma amostra de carne, como mostrado na figura 12.

A Figura 14 mostra uma imagem de transmissão de raios X de energia alta típica da mesma amostra de carne.

A Figura 15 é uma imagem que ilustra uma densidade em área calculada para cada pixel individual.

A Figura 16 é uma imagem que ilustra um teor de gordura calculado para cada pixel individual.

A Figura 17 é uma imagem que ilustra um "mapa de gordura" calculado para cada amostra de carne de 36% de gordura.

A Figura 18 mostra um gráfico de referência versus previsão para 50 varreduras.

Descrição detalhada de uma modalidade preferida e método

A descrição a seguir mostra, como um exemplo, uma modalidade preferida da invenção, que usa duas fontes de raios X. O aparelho é projetado para ser instalado em relação a uma linha de produção em um matadouro. A Figura 1 mostra um diagrama esquemático de uma modalidade de um sistema de medição de acordo com a invenção. A Figura 2 ilustra o princípio do aparelho de raios X presentemente preferido. A Figura 2 mostra apenas as porções de operação ativa do equipamento de raios X. Para fins de clareza, toda a blindagem de proteção ou de filtragem e todos os invólucros são apagados do desenho. O equipamento compreende ou está localizado em relação próxima com um transportador 10. Duas fontes de raios X 12, 14 são dispostas acima do transportador 10. A partir das duas fontes 12, 14, feixes de raios X 16, 18 são dirigidos para detectores 22, 24, dispostos abaixo do transportador. O transportador pode ser dividido em dois transportadores separados, espaçados para se permitir uma passagem livre dos raios X e para deixar um espaço aberto para a localização dos detectores 22, 24. Alternativamente, a cinta transportadora deve ser feita a partir de um material que mostre uma baixa absorbância de raios X, por exemplo, poliuretano

ou polipropileno. O alimento ou a alimentação a ser medido é disposto em um recipiente aberto ou caixa 20, preferencialmente também composto por um material que mostre uma baixa absorbância de raios X. Obviamente, em um arranjo alternativo, as fontes poderiam estar localizadas abaixo do transportador e os detectores acima do transportador.

A velocidade operacional do transportador é de modo preferencial substancialmente constante. Os itens, motor 30, caixa de controle 33 e cabos 32, 39, mostrados por linhas pontilhadas na Figura 1, indicam que a operação do transportador, opcionalmente, pode ser controlada pelos meios de computação 38. O transportador pode incluir meios de medição de posição, por exemplo, um codificador instalado em um eixo de acionamento de transportador. Meios alternativos também podem ser uma detecção a laser ou com radar, ou marcas na cinta transportadora. É essencial para a presente invenção que os dados que representam as duas imagens de raios X possam ser sincronizados. Essa sincronização, entretanto, pode ser obtida de muitas formas, incluindo o pós-processamento matemático das imagens.

O equipamento usado no presente exemplo consiste em duas fontes de raios X potenciais constantes 12, 14, uma a baixa energia (por exemplo, 62 kV / 5 mA) e uma outra a alta energia (por exemplo, 120 kV / 3 mA), ambas com uma filtragem apropriada (por exemplo, usando-se 0,25 e 1,75 mm de cobre, respectivamente) estreitando a faixa espectral da radiação emitida a partir das fontes policromáticas. As duas fontes são espacialmente separadas, para se evitar uma interferência entre elas, isto é, para evitar que a radiação de uma fonte seja detectada, como se originada a partir da outra. A radiação de uma fonte é colimada por um colimador de chumbo. Desta forma, dois feixes em formato de leque de raios X 16, 18 são direcionados através do recipiente 20, compreendendo uma amostra ou um lote de alimento ou de produto alimentício em direção a detectores 22, 24, por exemplo, Hamamatsu C 7390. Também, os pedaços de carne podem ser dispostos de forma solta em uma banda transportadora.

Ainda, as duas fontes separadas podem ser substituídas por uma combinação de uma fonte e dois filtros, que emitem um feixe de baixa

energia e um de alta energia. Os espectros de fonte resultantes são mostrados na Figura 3. Entretanto, a mídia que pode ser lida oticamente se aplica a duas fontes separadas 12, 14, comandadas por suprimentos de energia separados 13, 37.

Ambas as fontes de raios X 12, 14 são associadas a um arranjo de detectores 22, 24, cobertor por uma camada de cintilação, que converte a radiação transmitida em luz visível, que pode ser medida pelos detectores 22, 24. A camada de cintilação pode consistir, por exemplo, em um material selecionado a partir do grupo de telureto de cádmio, iodeto de mercúrio, e oxissulfeto de gadolínio. Os pixels usados na modalidade presentemente preferida têm as dimensões de 1,6 x 1,3 mm^2 e são dispostos como um arranjo de 384 pixels com um passo de 1,6 mm. Essas dimensões são estabelecidas apenas como um exemplo. Outras dimensões podem ser aplicadas. Os pixels convertem a quantidade de luz transmitida em sinais analógicos, que são passados através dos cabos 27, 28 para um conversor de analógico para digital 34, o qual é conectado através de um cabo 35 a um meio de computação 38, capaz de executar os cálculos sucessivos. Um monitor 42 pode ser conectado através do cabo 40 ao meio de computação, para mostrar resultados ou detalhes da operação. O meio de computação 38 pode incluir um meio para o controle do suprimento de energia, através dos meios 36, 37, 26 e 25, 13, 15 para as fontes de raios X 12, 14. O monitor 42 e o meio de computação 38 podem compreender um Computador Pessoal, preferencialmente incluindo pelo menos um processador Pentium e/ou vários processadores de sinal digital.

Operação:

Um recipiente 20, compreendendo, por exemplo, aparas de carne de uma seção de corte do matadouro, é recebido no transportador 10. O recipiente é movido com uma velocidade razoavelmente constante, por exemplo, de cerca de 5 a 100 cm por segundo, tal como de 10 a 50 cm, por exemplo, de 30 cm por segundo, diante dos feixes em formato de leque 16, 18 e dos arranjos de detectores 22, 24, de uma maneira controlada, de modo a se gerarem duas imagens da amostra ou do lote, uma a uma energia

baixa de raios X e uma outra a uma energia alta. Todos os dados representando as duas imagens são armazenados no computador 38.

Tratamento dos dados coletados

A Fig. 11 representa um fluxograma, que ilustra a medição e o tratamento dos dados. Como estabelecido acima, duas imagens de raios X de cada recipiente, compreendendo um lote de alimento ou de alimentação, por exemplo, de carne, são obtidas. Os sinais nos pixels são I_{low} e I_{high} a energias alta e baixa de raios X, respectivamente 110, 112 na Figura 11. Mais ainda, os assim denominados "sinais escuros" (isto é, o sinal dos detectores quando nenhuma radiação os atinge), $I_{dark}(low)$ e $I_{dark}(high)$ e os sinais de ar (isto é, o sinal dos detectores quando nenhuma amostra estiver presente na região de amostragem), $I_{air}(low)$ e $I_{air}(high)$ são coletados para cada pixel em ambas as energias de raios X 102 na Figura 11. Preferencialmente, esses dados são coletados repetitivamente nos intervalos entre a passagem / o passe dos recipientes de carne, isto é, os sinais escuros e os sinais de ar são medidos repetitivamente, por exemplo, em intervalos regulares, durante o dia, para o ajuste de qualquer desvio da performance do instrumento.

Agora, com referência a 114 na Figura 11, esses sinais são transformados em unidades de absorbância, usando-se as fórmulas a seguir:

$$A_{low} = -\log_{10}\left[\frac{I_{sample}(low) - I_{dark}(low)}{I_{air}(low) - I_{dark}(low)}\right]$$

$$A_{high} = -\log_{10}\left[\frac{I_{sample}(high) - I_{dark}(high)}{I_{air}(high) - I_{dark}(high)}\right]$$

A partir desses dois valores, uma pluralidade de valores pode ser gerada, por exemplo: A_{low}; A_{high}; A_{low}^2; A_{high}^2; $A_{low} \times A_{high}$; $A_{low}^2 \times A_{high}$; $A_{low} \times A_{high}^2$; A_{low} / A_{high}; A_{low}^2 / A_{high}; A_{low} / A_{high}^2; $(A_{low} / A_{high})^2$; ...

ou, de uma maneira mais generalizada: $A_{low}^n * A_{high}^m$,

onde n e m são números inteiros positivos e/ou negativos e/ou zero.

Esses valores são usados como a entrada para a rotina de calibração, que estabelece uma relação entre os dados coletados e o compo-

nente (por exemplo, o teor de gordura) ou a propriedade (por exemplo, a densidade em área) de interesse.

É essencial que um valor A_{low} para um pixel específico medindo a transmitância de energia baixa através de uma área específica do meio seja combinado com o valor A_{high} para o pixel medindo a transmitância de energia alta exatamente através da mesma área do meio. Isso pode ser realizado assegurando-se uma sincronização das imagens, como mencionado abaixo.

Se as imagens de energia baixa e alta não estiverem perfeitamente alinhadas, isto é, se uma região específica da amostra não mostrar exatamente as mesmas posições nas duas imagens, podem resultar grandes erros. Este problema pode ocorrer, por exemplo, se os dois detectores de varredura de linha 22, 24 não estiverem sincronizados. Uma solução possível para este problema é calcular a correlação entre as duas imagens, usando vários deslocamentos entre eles e, desse modo, encontrando o deslocamento no qual a correlação está em um máximo, seguido pela correção de uma das imagens por este deslocamento. Contudo, é preferido sincronizar a varredura de linha, por exemplo, pelo uso de um meio de medição de posição, ou por um controle estrito da velocidade do transportador.

O exemplo a seguir explica como gerar um modelo de calibração.

Exemplo: Calibração contra teor de gordura e densidade em área

Um conjunto de 32 amostras de calibração, consistindo em carne de porco moída, foi preparado. Elas foram congeladas em blocos de alturas variáveis (5, 10, 15 e 20 cm) com dimensões horizontais de 10×10 cm^2. Seu teor de gordura (percentagem), o qual variou de 2,6 a 70,9%, foi, mais tarde, determinado pelo uso de um método de química a úmido. As alturas e os teores de gordura (percentagem), juntamente com a densidade dependente da gordura da carne, foram usados para o cálculo de densidades em área em todas as 32 amostras, variando de 4,8 a 21,0 g/cm^2.

Os blocos de carne congelada foram medidos no equipamento de raios X mencionado anteriormente, produzindo-se duas imagens de cada

amostra. Os pontos de dados (pixels) dessas imagens foram tratados de acordo com as etapas descritas acima. Para evitar que o ruído aleatório influenciasse os resultados de calibração, os 11 valores gerados a partir dos valores de absorbância originais foram ponderados por todos os pixels na imagem. Isso somente poderia ser feito uma vez que as amostras fossem homogêneas e de altura fixa.

Este conjunto de dados, consistindo em 11 variáveis, obtidas para todas as 32 amostras, foi correlacionado contra o teor de gordura (percentagem) medido por um método de referência e as densidades em área, usando-se o método de regressão de Mínimos Quadrados Parciais (PLS). Este e outros métodos de calibração de múltiplas variáveis similares são bem conhecidos (Martens e Næs: Multivariate Calibration, 2ª ed. Wiley (1992)).

As calibrações foram validadas usando-se uma validação cruzada plena, isto é, uma amostra em um tempo foi removida do conjunto de dados, para validação, enquanto as 31 amostras remanescentes foram usadas para calibração. Este procedimento foi repetido para todas as amostras, e os resultados de validação foram gerados pela combinação dos resultados de validação para todas as 32 amostras.

A forma tradicional de construção de um modelo de calibração de raios X para gordura na carne é correlacionando-se a relação A_{low} / A_{high} dos resultados de referência de gordura (Haardbo et al., Clin. Phys. (1991), vol. 11, pp. 331-341 ou Mitchell et al., J. Anim. Sci. (1998), vol. 76, pp. 2104-2114). Este método, contudo, é sensível à espessura (ou à densidade em área) da amostra e, portanto, não é útil com a faixa de alturas de amostra (de 5 a 20 cm) de interesse no presente contexto. Isso é evidente a partir da Figura 4, onde as previsões de gordura com raios X, usando-se apenas a relação A_{low} / A_{high}, são plotadas contra os resultados de referência de gordura. O erro de previsão (expresso como o Erro de Previsão Eficaz Médio, RMSEP) é de 14,7%, neste caso.

Usando-se o método de acordo com a invenção, com, por exemplo, 11 ou mais variáveis geradas a partir das duas absorbâncias origi-

nais em combinação com uma regressão de PLS com 5 fatores de PLS, é obtido o gráfico apresentado na Figura 5. Neste caso, o erro de previsão (RMSEP) é tão baixo quanto 1,0%, mostrando, assim, os benefícios do uso do método de PLS em combinação com as novas variáveis.

O método também pode ser aplicado para a determinação da densidade em área da amostra. De acordo com a técnica anterior, a densidade em área é determinada pela correlação de A_{high} com a densidade em área de referência. O resultado de um modelo de calibração como esse é apresentado na Figura 6, onde a concordância entre a densidade em área determinada por raios X e os resultados de referência é muito boa. O erro de previsão (RMSEP) é de 0,30 g/cm^2, neste caso. Quando usado o método de acordo com a invenção, isto é, usando-se ambas as absorbâncias medidas, A_{low} e A_{high}, em combinação com uma regressão de PLS com fator 1, o resultado apresentado na Figura 7 e um erro de previsão (RMSEP) de 0,28 g/cm^2 são obtidos. Este é apenas um leve melhoramento, mas o uso de duas variáveis, ao invés de uma, provê ao usuário uma vantagem adicional: a possibilidade de detectar medições incorretas (por exemplo, se uma das duas fontes de raios X mostrar uma queda súbita na intensidade, ou se um pixel não estiver respondendo). Isso é porque as discrepâncias da relação entre Alow e Ahigh podem ser facilmente detectadas pelo modelo de PLS. Uma detecção destacada como essa não é possível se apenas uma absorbância for usada. Esta possibilidade é muito relevante e vantajosa, quando do uso de um detector de CCD, onde um único pixel pode se deteriorar de forma razoavelmente abrupta.

Os modelos de calibração desenvolvidos desta forma podem ser usados para futuras previsões do teor de gordura e da densidade em área em um dado ponto em uma amostra de carne não-homogênea, bem como para a determinação do teor de gordura médio de uma grande amostra de carne.

Previsão do teor de gordura em uma amostra de carne desconhecida

O exemplo a seguir demonstrará o uso dos modelos de calibração na prática, onde as amostras são não homogêneas e de espessura variável. A finalidade é prever o teor de gordura médio das amostras. Portanto, o procedimento envolve as etapas a seguir, como mostrado na Figura 11.

1. Medição regular de I_{dark} e de I_{air}, 102.

2. Disposição de um lote ou de um fluxo de carne (ou de outro alimento ou produto alimentício) em um transportador, que passa através do aparelho de raios X, 104.

3. Varredura do lote ou do fluxo pelos feixes de raios X em dois níveis de energia diferentes, 106, 108.

4. Detecção de sinais que representam uma pluralidade de intensidades de raios X, usando os detectores 22, 24 nas Figuras 1, 2; 110, 112.

5. Gravação dos dados que representam os sinais detectados, 114.

6. Calcular A_{low} e A_{high} para todos os pixels, 114 (opcionalmente, uma suavização da imagem pode ser incluída).

7. Coordenar (combinar) os valores de A_{low} e os valores de A_{high}, 114, se necessário.

8. Calcular as expressões derivadas $A_{low}^{n} * A_{high}^{m}$, 114.

9. Calcular o teor de gordura (percentagem) e, preferencialmente, a densidade em área, para todos os pontos (pixels) obtidos a partir das varreduras, usando um modelo de calibração de gordura, gerado como descrito acima, 116.

10. Multiplicar o teor de gordura (percentagem) e a densidade em área em cada ponto, de modo a gerar um "mapa de gordura" (em g/cm^2) do lote ou do fluxo de alimento ou de alimentação, 116.

11. Adicionar todos os pontos no "mapa de gordura" para dar o peso total de gordura (F_{total}), 116.

12. Adicionar todas as densidades em área para a amostra, para dar o peso total (W_{total}), 116.

13. Calcular o teor médio de gordura (percentagem) como a relação F_{total}/W_{total}, 116.

Opcionalmente, mais duas etapas podem ser incluídas entre a etapa 6 e 7:

Se as porções de carne são dispostas em um recipiente, os dados devem ser submetidos a uma correção para a absorção no fundo do

recipiente. Essa correção é, preferencialmente, feita no final da etapa 6, provendo-se novos valores corrigidos de A_{low} e A_{high} para todos os pixels.

Uma opção vantajosa adicional é a suavização dos dados, por exemplo, na direção do movimento. Adicionalmente, a experiência mostrou que pode ser vantajoso incluir um processamento de dados adicional na etapa 9. Em uma modalidade presentemente preferida, os pixels tendo uma densidade em área fora de um intervalo específico são removidos / apagados ou pelo menos desconsiderados no processamento de dados a seguir, isto é, pixels para os quais a densidade em área calculada é extremamente baixa ou alta em demasia são rejeitados.

O presente exemplo mostra o cálculo do teor de gordura (percentagem) para uma linha de 99 pontos apenas. Isso é feito de modo a tornar os gráficos apresentados mais simples, e é facilmente generalizado para ser realizado em uma imagem bidimensional de um produto de carne.

Exemplo 1:

Uma amostra de carne, consistindo em um bloco cúbico (dimensões 10 × 10 × 10 cm^3) de carne de porco moída foi medida, usando-se o mesmo equipamento de raios X que o que foi usado para a medição das amostras de calibração. As duas primeiras etapas do procedimento de previsão são mostradas na Figura 8 (teor de gordura previsto (percentagem)), na Figura 9 (densidade em área prevista, etapa 9), e na Figura 10 (o "mapa de gordura", etapa 10). Claramente, há uma variação no teor de gordura e na densidade em área pela amostra, de modo que os resultados de todos os pontos de amostra são necessários, de forma a se obter uma estimativa acurada do teor de gordura médio da amostra.

A soma de todos os pontos no "mapa de gordura" (etapa 11), F_{total}, equivale a 464 g / (99 pixels), e o peso total da amostra (etapa 12), W_{total}, é de 963 g / (99 pixels). Isso, por sua vez, resulta em um teor de gordura médio total de 464/963 = 48,2% (etapa 13), não distante do teor de gordura verdadeiro, o qual foi determinado, mais tarde, como de 49,2%, por um método de referência.

Exemplo 2:

Este exemplo é uma extensão dos resultados estabelecidos acima. O presente exemplo envolve a previsão do teor de gordura de amostras consistindo em aproximadamente 25 kg de carne em recipientes plásticos.

Dez amostras de carne variando de 11,5 a 84,6% de gordura foram obtidas, a partir de uma instalação de processamento de carne. A quantidade de carne em cada recipiente variava de 20 a 30 kg, a homogeneidade da amostra variando de carne moída a pedaços de carne de 5 kg cada. Uma amostra típica consistindo em 36% de aparas de gordura dispostas em um recipiente presentemente preferido (dimensões: $70 \times 40 \times 17$ cm^3) é mostrada na Figura 12.

Cada uma dessas dez amostras foi varrida pelo instrumento cinco vezes, por um período de dois dias. Antes de cada nova varredura, o conteúdo do recipiente foi reorganizado, isto é, os pedaços de carne foram movidos, sem se mudar o conteúdo total do recipiente. Isso foi feito de modo a verificar a repetibilidade da medição. Um total de 50 varreduras com raios X, cada uma consistindo em uma imagem de energia baixa e de energia alta de 306 x 1836 pontos de dados, foi, assim, acumulado. Duas imagens de transmissão típicas de uma amostra são mostradas nas Figuras 13 e 14.

Todas as 50 varreduras foram submetidas às etapas de previsão, de acordo com a invenção, usando-se um modelo de calibração baseado em amostras de carne congelada. O teor de gordura calculado e a densidade em área para cada pixel individual (etapa 9), bem como o "mapa de gordura" (etapa 10) para uma amostra, são mostrados nas Figuras 16, 15, 17. As previsões de gordura negativas são devido a uma relação de sinal para ruído relativamente baixa nos pixels individuais. Entretanto, isso não é um problema, uma vez que o cálculo da média final dos resultados reduz este erro em ordens de magnitude. A partir dessas imagens, o teor de gordura total das amostras foi calculado. O desvio padrão de repetibilidade agrupado, s_r, para as cinco varreduras da mesma amostra foi de 0,25%.

Após este experimento ter sido realizado, as amostras foram homogeneizadas e várias subamostras foram analisadas pelo método de referência para gordura em carne (Schmid-Bondzynski-Ratzlaff, método S-

BR). Esses resultados de referência foram comparados com as previsões obtidas acima, resultando em uma acurácia (Erro de Previsão Eficaz Médio, RMSEP) de 0,81%. O gráfico de referência versus previsão para as 50 varreduras é mostrado na Figura 18.

Exemplo 3

Para demonstrar a vantagem do método, em termos de sua capacidade de melhorar significativamente a acurácia da determinação de gordura, um experimento adicional foi realizado. 45 amostras de carne congelada com teores de gordura variando de 2,4 a 72,8% e densidades em área variando de 1 a 21 g/cm^2 foram medidas, usando-se o equipamento de raios X. Essas amostras foram usadas para a obtenção de seis modelos de calibração diferentes, usando várias combinações das 11 variáveis, com base em A_{low} e A_{high} descritos acima. Subseqüentemente, esses modelos de calibração foram testados no mesmo conjunto de dados que o usado no Exemplo 2, isto é, dez amostras de carne de 20 a 30 kg, com teores de gordura variando de 11,5 a 84,6 % de gordura.

As seis combinações de variáveis usadas para os modelos de calibração são mostradas na tabela 1 apresentada a seguir, juntamente com as acurácias resultantes (RMSEP) no conjunto de calibração (de validade cruzada) e no conjunto de teste. Mais ainda, a repetibilidade (s_r) no conjunto de teste também foi calculada.

Tabela 1

Nº de calibração	A_{low}	A_{high}	A_{low}^2	A_{high}^2	$A_{low} \times A_{high}$	$A_{low}^2 \times A_{high}$	$A_{low} \times A_{high}^2$	A_{low} / A_{high}	A_{low}^2 / A_{high}	A_{low} / A_{high}^2	$(A_{low} / A_{high})^2$	RMSEP (calibração)	RMSEP (teste)	S_r (conjunto de teste)
1	+	+	+	+	+							9,43	1,52	0,41
2	+	+	+	+	+	+	+					7,59	3,04	0,86
3	+	+	+	+	+	+	+	+				0,93	1,09	0,26
4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,79	0,81	0,25
5					+	+	+	+	+	+	+	2,30	1,17	0,23
6								+	+	+	+	3,36	3,31	0,26

A partir dos resultados apresentados na tabela 1, a acurácia obtida quando do uso apenas de potências de A_{low} e A_{high} (modelo de calibração 1), bem como de produtos dos mesmos (modelo de calibração 2) são inaceitáveis, se o método também for para ser usado para controle de processo em limites estreitos. Se a relação A_{low} / A_{high} for adicionada, combinada com potências de A_{low} e A_{high} (modelo de calibração 3), uma acurácia aceitável é obtida. Entretanto, se potências de A_{low} e A_{high} forem combinadas com A_{low} / A_{high} e as relações mais complexas (modelo de calibração 4), previsões ainda mais acuradas resultam. Também, é claro a partir dos modelos de calibração 5 e 6 que A_{low} e A_{high} e potências dos mesmos são essenciais, se a melhora acurácia possível for requerida.

Em termos de repetibilidade, também é claro que a relação A_{low} / A_{high} tem uma influência principal sobre a diferença entre múltiplas determinações da mesma amostra.

O exemplo apresentado acima demonstra as vantagens do uso de relações de ordem mais alta para calibração dos dados de raios X contra resultados de referência de gordura. Apenas ordens de até dois foram usadas no presente exemplo, mas relações de ordens mais altas podem melhorar o resultado ainda mais. Por exemplo, quando do uso das relações: $(A_{low} / A_{high})^3$; $(A_{low} / A_{high})^4$; A_{low}^3 / A_{high}; A_{low}^4 / A_{high}; A_{low}^3 / A_{high}^2; A_{low}^4 / A_{high}^2; A_{low}^4 / A_{high}^3, com uma acurácia (RMSEP) de 0,67 é obtida no conjunto de calibração.

O método pode ser aplicado a todos os tipos de carne, tais como bife, vitela, porco, búfalo, camelo e carneiro, de caça, tal como coelho, de aves, tais como galinha, peru, pato, ganso e avestruz, e de peixes.

Embora uma única modalidade preferida da invenção tenha sido mencionada, será compreendido, obviamente, que a invenção não está limitada a ela, uma vez que muitas modificações podem ser feitas, tal como o uso de mais de duas fontes de raios X ou arranjos alternativos, tal como o arranjo das fontes abaixo do transportador ou lateralmente, e, portanto, é contemplado que qualquer uma dessas modificações seja coberta pelas reivindicações, conforme caírem no verdadeiro espírito e escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de determinação de propriedades de um meio (20) de alimento ou ração, tal como o teor de gordura da carne, pelo uso de absorciometria de raios X dupla, o meio (20) sendo uma matéria-prima de alimento ou ração, um produto ou um produto intermediário de alimento ou ração, ou um lote ou uma amostra ou seção do mesmo, o método compreendendo:

varrer todo o meio (20) pelos feixes de raios X, que têm pelo menos dois níveis de energia, incluindo um nível baixo e um nível alto,

detectar os feixes de raios X que passaram através do meio (20) para uma pluralidade de áreas (pixels) do meio (20),

calcular, para cada área, um valor, A_{low}, que representa a absorvância na área do meio (20) no nível baixo de energia,

calcular, para cada área, um valor, A_{high}, que representa a absorvância na área do meio no nível alto de energia,

caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

gerar, para cada área, uma pluralidade de valores sendo produtos do tipo $A_{low}^{n} * A_{high}^{m}$, onde n e m são números inteiros, e

prever as propriedades do meio (20) nesta área aplicando um modelo de calibração de múltiplas variáveis à pluralidade de valores, em que o modelo de calibração de múltiplas variáveis define relações entre a pluralidade de valores e propriedades do meio (20).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de valores inclui valores de $A_{low}^{n1} / A_{high}^{m1}$, em que n1 e m1 são números inteiros positivos.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de valores inclui valores de A_{low}, A_{high}, A_{low}^{2}, A_{high}^{2}, e A_{low} / A_{high}.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de valores inclui pelo menos um dos valores $A_{low} * A_{high}$, $A_{low}^{2} * A_{high}$, $A_{low} * A_{high}^{2}$, $A_{low} * A_{high}^{4}$, $A_{low}^{2} * A_{high}^{4}$.

5. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de valores inclui pelo menos um dos valores $A_{low}^{2} /$

A_{high}, A_{low} / A_{high}^2 e A_{low}^2 / A_{high}^2.

6. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de valores inclui pelo menos um dos valores A_{low}^3 / A_{high}^2, A_{low}^4 / A_{high}^2, 1/ A_{high}^4, A_{low}^4 / A_{high}^3, A_{low}^3 / A_{high}^4 e A_{low}^4 / A_{high}^4.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o modelo de calibração é obtido pelo uso de um método de regressão que está incluído no grupo compreendendo Regressão de Componente Principal (PCR), Regressão Linear Múltipla (MLR), regressão de Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Redes Neurais Artificiais (ANN).

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que:**

o meio (20) é disposto em um transportador que se move a uma velocidade substancialmente constante,

pelo menos dois feixes de raios X são em formato de leque, e

o feixe de nível baixo é detectado por um primeiro arranjo linear, que é dedicado à detecção do feixe de energia baixa, e o feixe de nível alto é detectado por um segundo arranjo linear, que é dedicado à detecção do feixe de energia alta, cada um compreendendo uma pluralidade de pixels.

9. Aparelho para a determinação de propriedades de um meio (20), tal como o teor de um componente no meio (20), o meio (20) compreendendo uma matéria-prima de alimento ou de ração, um produto ou um produto intermediário de alimento ou de ração, ou um lote, uma amostra ou uma seção do mesmo, o aparelho compreendendo:

meios (12, 14) para a emissão de pelo menos dois feixes de raios X (16, 18) em dois níveis de energia diferentes,

recursos de direcionamento dos pelo menos dois feixes de raios X em direção e através do meio (20),

meios de detecção de raios X (22, 24), que cobrem uma pluralidade de áreas, para a detecção dos dois feixes (16, 18), após passarem através do meio (20),

meios (27, 28, 34, 35) para a transferência e a conversão de sinais de saída dos meios de detecção (22, 24) em um conjunto de dados digi-

tais para entrada no meio de processamento de dados (38), para o recebimento, o armazenamento e o processamento de pelo menos dois conjuntos de dados que representam imagens de raios X em pelo menos dois níveis de energia diferentes,

o aparelho ainda compreendendo meios para a sincronização de pelo menos dois conjuntos de dados e os meios de processamento de dados incluindo meios para o cálculo de valores que representam as absorvâncias (A_{low}, A_{high}) em cada área do meio em pelo menos dois níveis de energia, **caracterizado pelo fato de que** os meios de processamento de dados compreendem meios para a geração de uma pluralidade de valores sendo produtos do tipo $A_{low}^{n} * A_{high}^{m}$, onde n e m são números inteiros positivos e/ou negativos ou zero, e

recursos de previsão das propriedades do meio (20) nesta área pela aplicação de um modelo de calibração de múltiplas variáveis à pluralidade de valores, em que o modelo de calibração de múltiplas variáveis define relações entre a pluralidade de valores e propriedades do meio.

10. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** compreende:

pelo menos uma fonte de raios X de energia baixa (12), disposta acima do meio (20), para a provisão de um feixe de energia baixa em formato de leque (16), que cobre substancialmente a largura do meio, e

pelo menos uma fonte de raios X de energia alta (14), disposta acima do meio (20), para a provisão de um feixe de energia baixa em formato de leque (16), que cobre a largura do meio (20),

um primeiro meio de detecção de raios X (22), disposto para ser exposto ao feixe de energia baixa em formato de leque (16) e abaixo do meio (20),

um segundo meio de detecção de raios X (24), disposto para ser exposto ao feixe de energia alta em formato de leque (18) e abaixo do meio (20),

e meios eletrônicos (34, 38, 42), que incluem o meio de processamento de dados (38) e se comunicam com os detectores (22, 24) e dis-

postos para

o armazenamento e o processamento de dados que representam sinais a partir dos meios de detecção (22, 24), e

ainda compreendendo meios (10) para mover o meio (20) em relação aos feixes de raios X (16, 18) ou vice-versa.

11. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de** os meios de processamento de dados incluírem e/ou se comunicarem com meios que incluem meios de armazenamento de dados, que compreendem um modelo de calibração preparado pelo uso de métodos de calibração de múltipla variável, tais como Redes Neurais Artificiais (ANN), ou análise por regressão PCR, MLR ou PLS.

12. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** compreende pelo menos duas fontes (12, 14), que emitem raios X de dois níveis diferentes de energia.

13. Aparelho, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado pelo fato de** os dois níveis de energia compreenderem um nível de energia baixo em uma faixa entre 35 e 75 keV, preferencialmente, entre 45 e 70 keV e mais preferencialmente, cerca de 62 keV, e um nível de energia alto em uma faixa entre cerca de 60 e 140 keV, preferencialmente, entre 80 e 130 keV e, mais preferencialmente, cerca de 120 keV.

14. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** compreende meios de filtro localizados em cada um dos feixes (16, 18).

15. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** compreende uma fonte de raios X e dois meios de filtro que dividem o feixe em dois feixes de raios X em dois níveis de energia diferentes.

16. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** os meios (12, 14) para a emissão de pelo menos dois feixes de raios X, os meios para direcionamento de pelo menos dois feixes de raios X e os meios de detecção de raios X (22, 24) são mutuamente fixos.

17. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado**

pelo fato de que compreende meios (12, 14) para a emissão de feixes em formato de leque espacialmente separados (16, 18).

18. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** os meios de detecção (22, 24) são cobertos por uma camada de cintilação constituída de um material do grupo que compreende telureto de cádmio, iodeto de mercúrio e oxissulfeto de gadolínio.

19. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** compreende um meio transportador (10) disposto para portar o recipiente de meio (20), tal como uma bandeja ou uma caixa aberta, adaptada para acomodar um número aleatório de pedaços de carne de vários tamanhos a serem analisados, o meio transportador sendo disposto para deixar o recipiente de meio (20) passar por pelo menos dois feixes de raios X em formato de leque (16, 18).

20. Aparelho, de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado pelo fato de que** compreende um meio transportador (10), em que a cinta transportadora é feita a partir de um material que mostra uma baixa absorção de raios X ou é dividido em duas partes separadas espaçadas, os meios detectores (22, 24) sendo dispostos em um espaço aberto entre as duas partes.

21. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** compreende um meio transportador (10) adaptado para acomodar um fluxo contínuo de pedaços de carne de vários tamanhos a serem analisados, o meio transportador sendo disposto para deixar os pedaços de carne passarem por pelo menos dois feixes de raios X em formato de leque (16, 18).

22. Método para a calibração de um aparelho conforme definido em qualquer uma das reivindicações 9 a 21, **caracterizado pelo fato de que** compreende:

preparar uma pluralidade de amostras de calibração, que consistem em um meio específico, que compreende alimento ou produtos alimentícios, tal como carne de porco moída, de várias densidades em área e propriedades bem definidas,

medir a pluralidade de amostras de calibração no aparelho, obtendo dados que representam duas respostas de raios X de cada amostra, cada resposta compreendendo uma pluralidade de pixels, em que os dados de cada pixel ou a média de um número de pixels vizinhos são processados, para o cálculo das absorvâncias A_{low} e A_{high} no meio acima do referido pixel ou pixels,

gerar uma pluralidade de valores do tipo $A_{low}^{n} * A_{high}^{m}$, onde n e m são números inteiros,

correlacionar pelo uso de métodos de calibração de múltiplas variáveis, tais como Redes Neurais Artificiais (ANN), ou regressão PCR, MLR ou de PLS, algumas ou todas a pluralidade de amostras de calibração às propriedades determinadas por outros meios, tal como um método de referência, determinando um número de coeficientes de calibração,

proporcionar um modelo de calibração que compreende o número de coeficientes de calibração determinados.

23. Método, de acordo com a reivindicação 22, **caracterizado pelo fato de que** todas as amostras de calibração são preparadas de modo que elas sejam homogêneas e de densidades em áreas fixas e, ainda, pelo cálculo da média de cada um dos valores por todos os pixels, pelo menos em uma porção definida das imagens.

24. Método de previsão do teor de gordura da carne pelo uso de absorciometria de raios X dupla, **caracterizado pelo fato de que** usa um modelo de calibração obtido pelo método conforme definido na reivindicação 22 ou 23.

25. Aparelho, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 21, **caracterizado pelo fato de que** compreende um modelo de calibração determinado pelo método conforme definido nas reivindicações 22 ou 23.

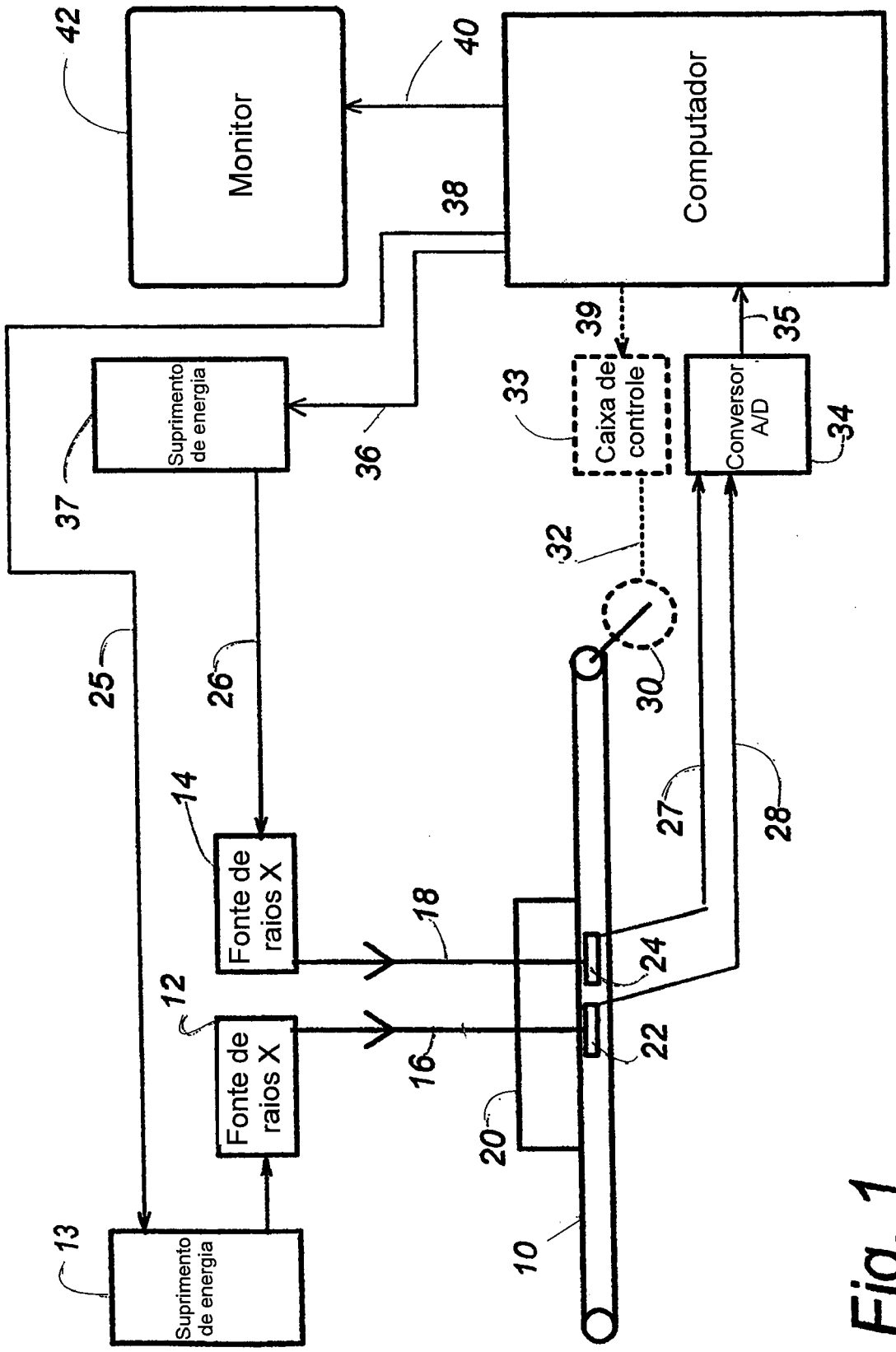

Monitor
Computador
Suprimento de energia
Caixa de controle
Conversor A/D
Fonte de raios X
Fonte de raios X
Suprimento de energia
42
40
38
39
35
33
34
37
36
32
25
26
30
27
28
14
18
24
12
22
16
20
10
13

Fig. 1

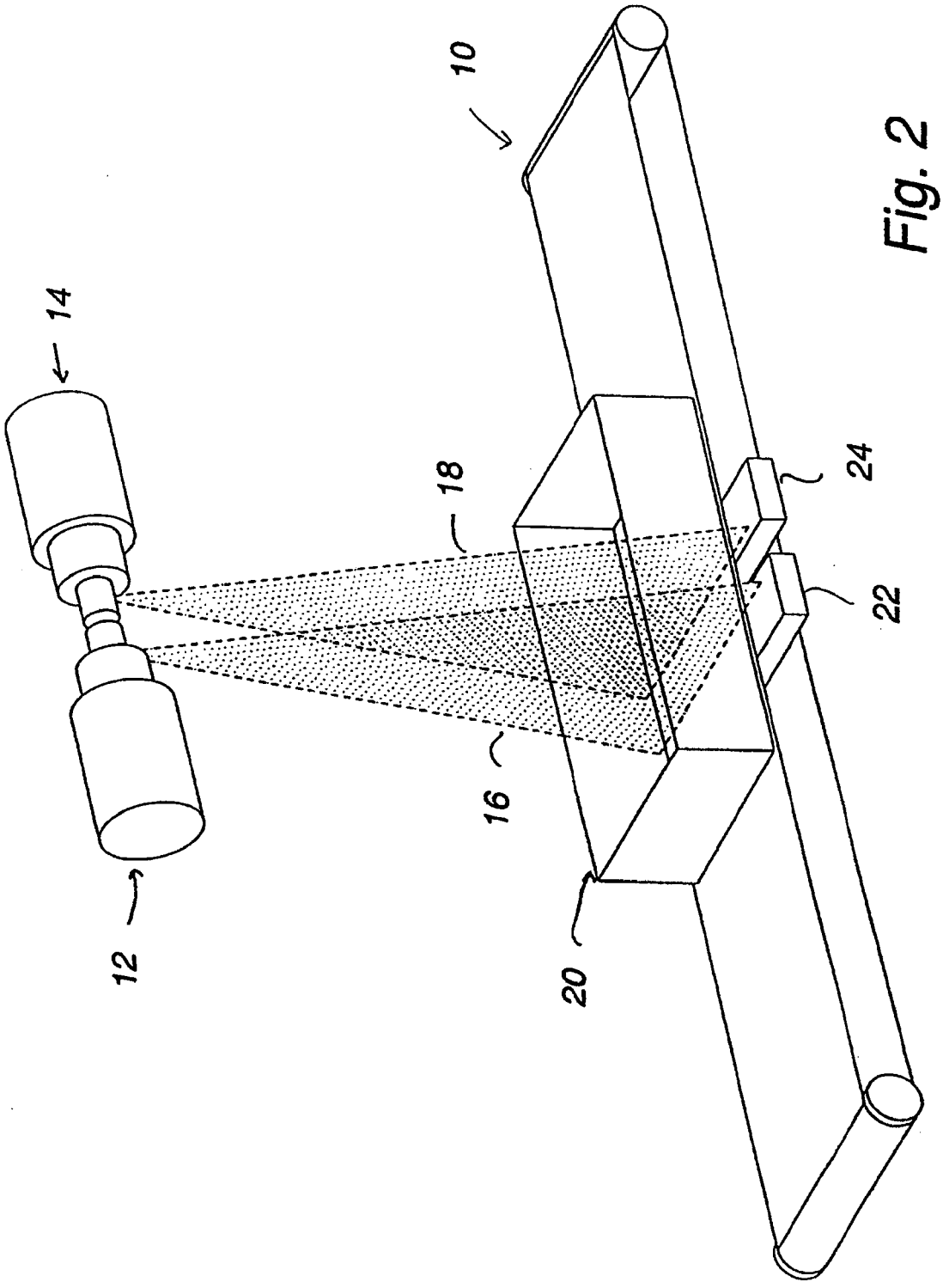
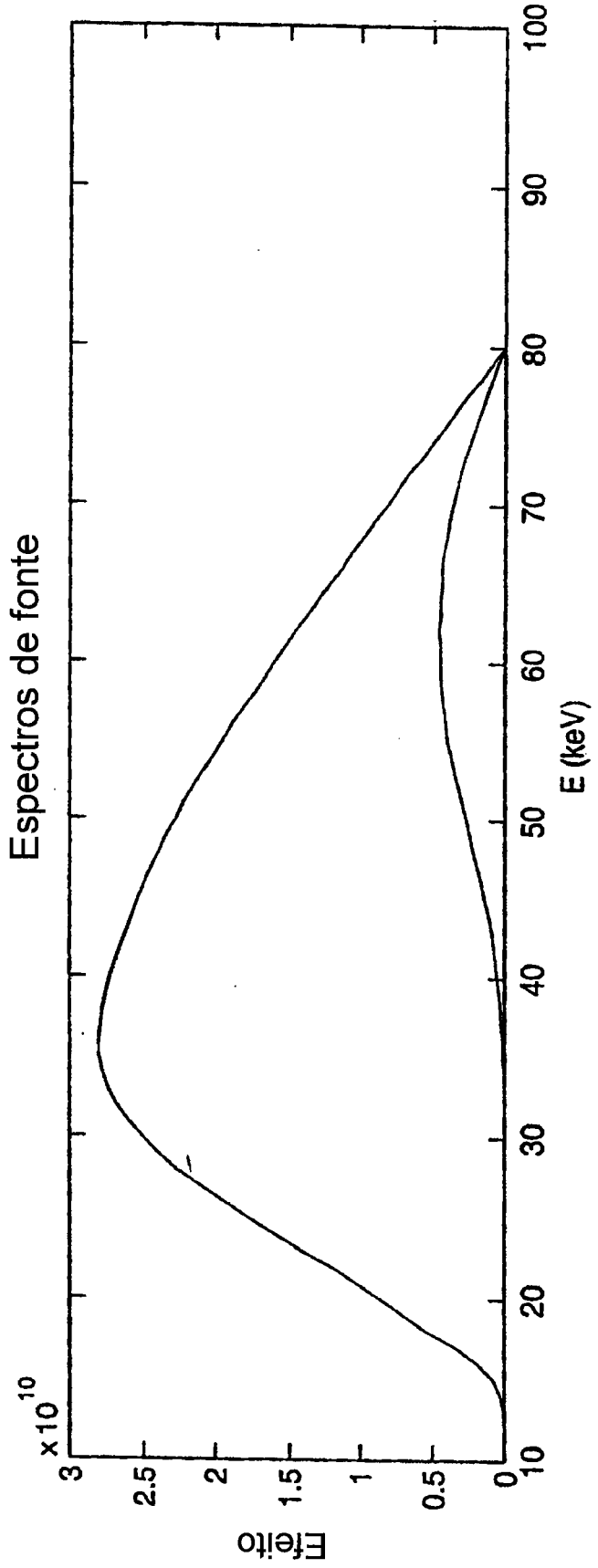


Fig. 2

Fig. 3


Espectros de fonte
Efeito
x10^10
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
E (keV)

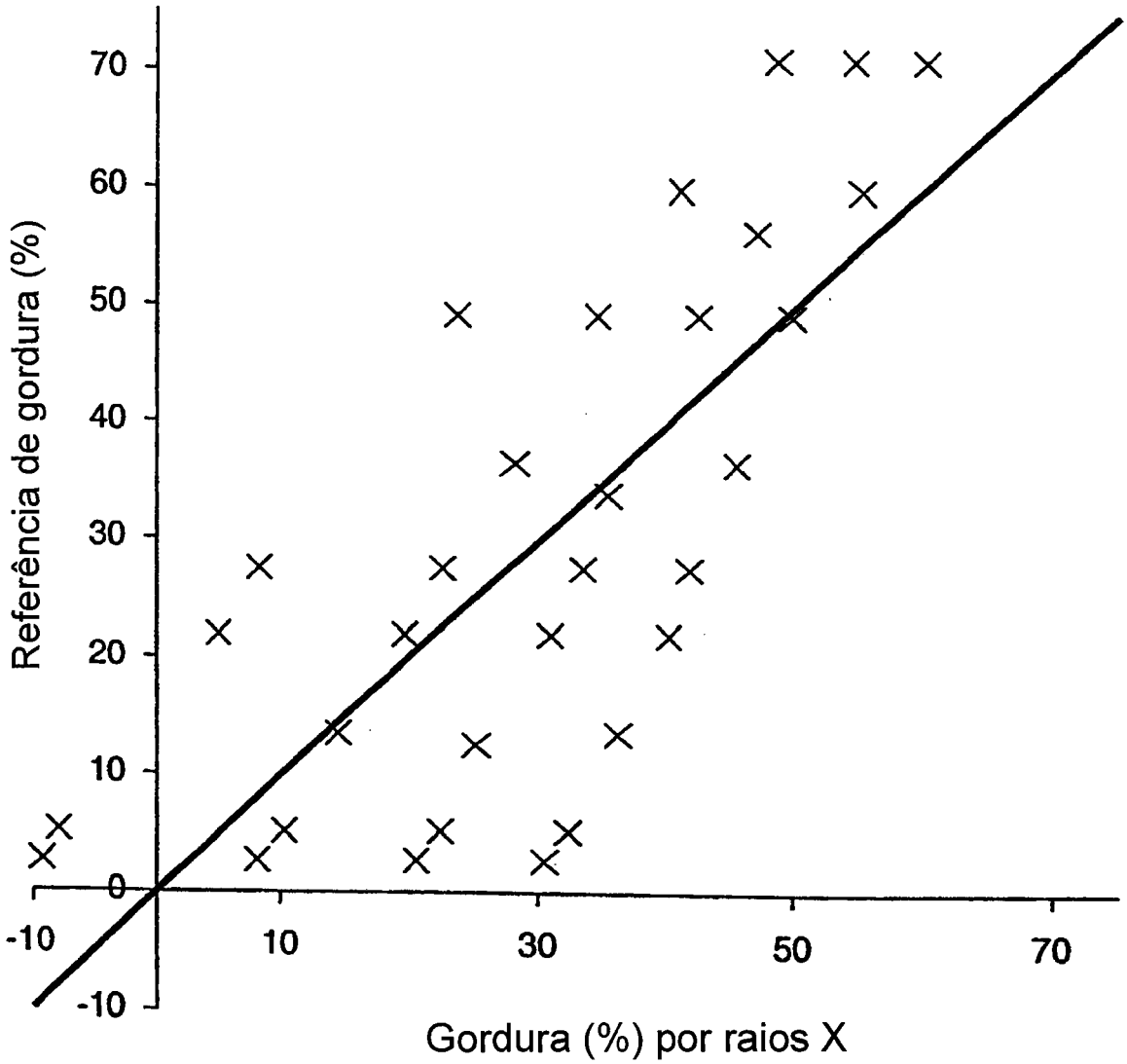

Referência de gordura (%)
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-10
10
30
50
70
Gordura (%) por raios X

Fig. 4

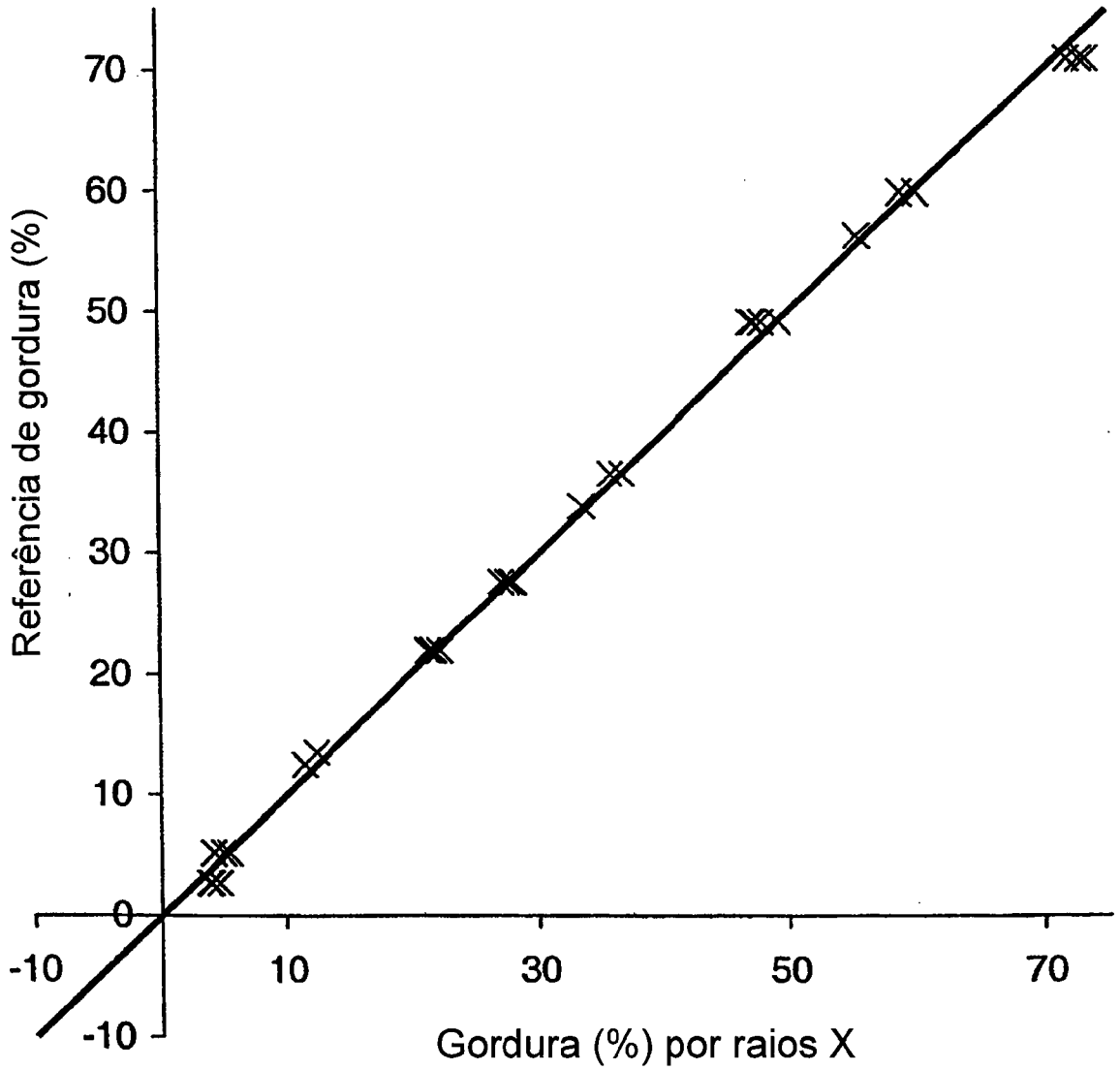

70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-10
10
30
50
70
Referência de gordura (%)
Gordura (%) por raios X

Fig. 5

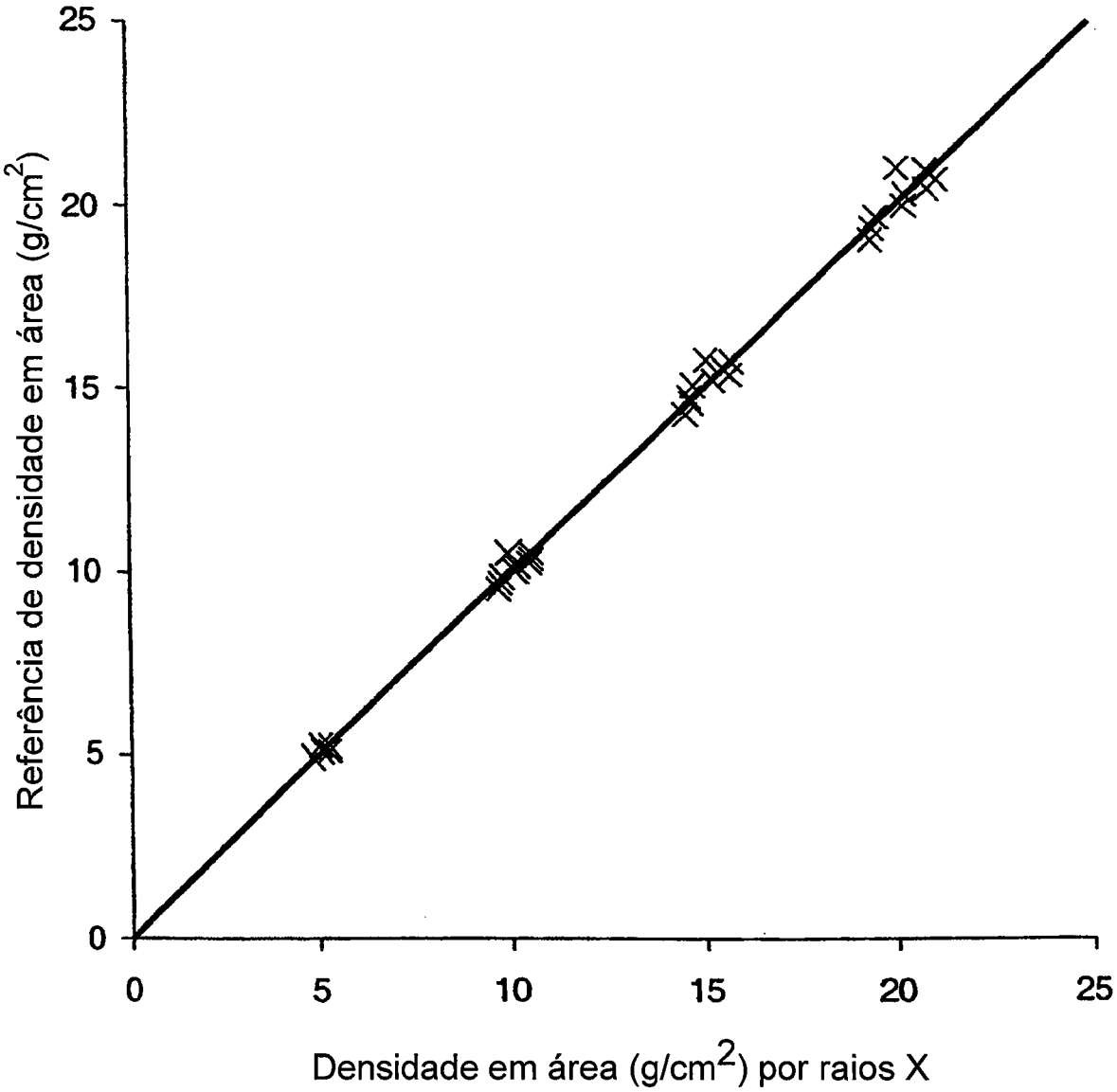

25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
25
Referência de densidade em área (g/cm2)
Densidade em área (g/cm2) por raios X

Fig. 6

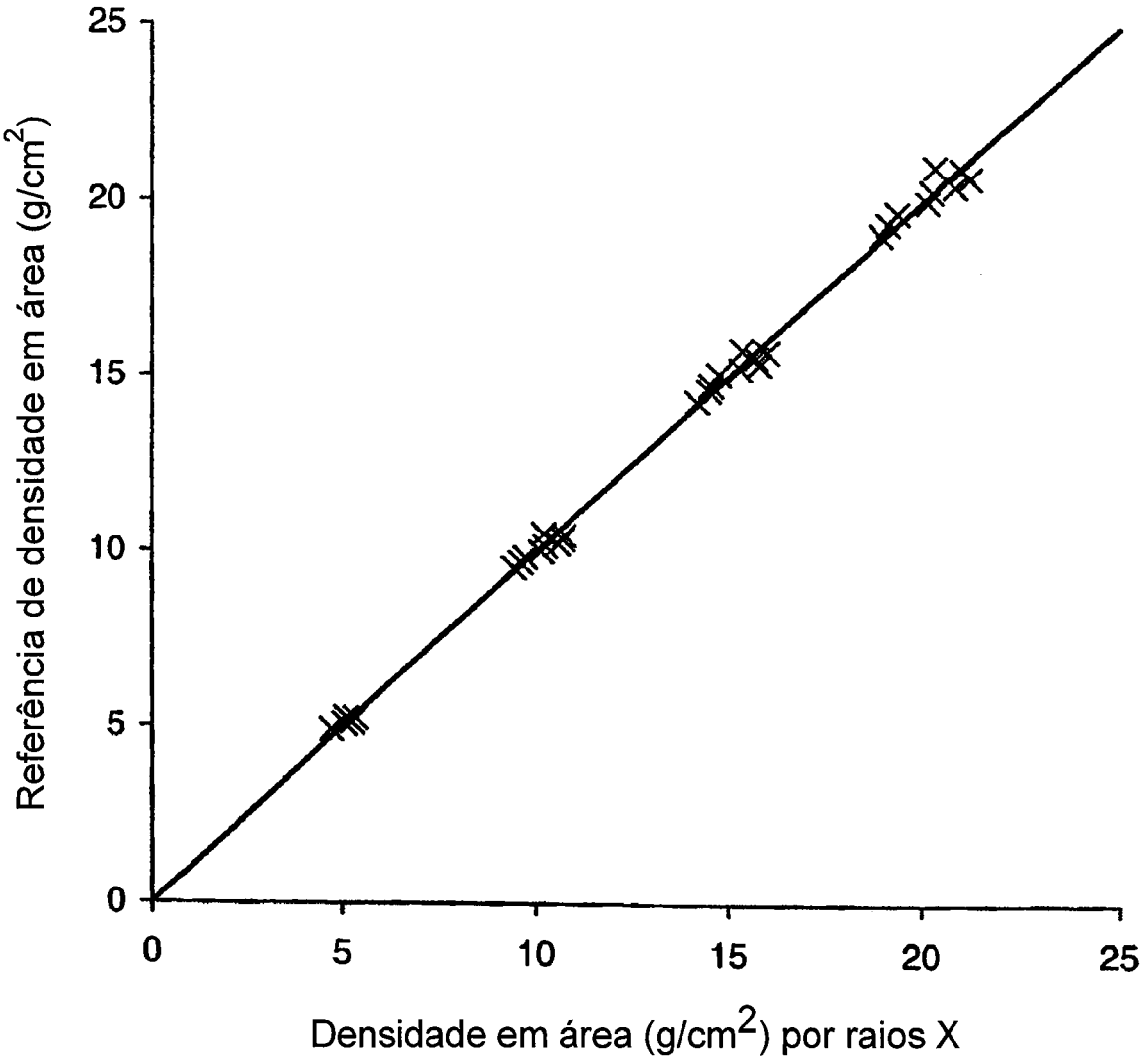

25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
25
Referência de densidade em área (g/cm2)
Densidade em área (g/cm2) por raios X

Fig. 7

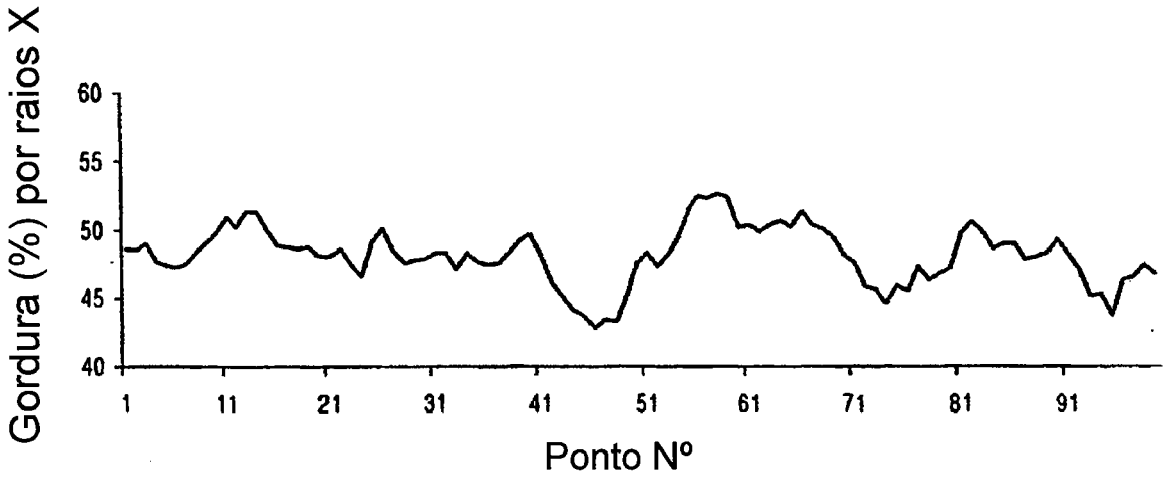


Fig. 8

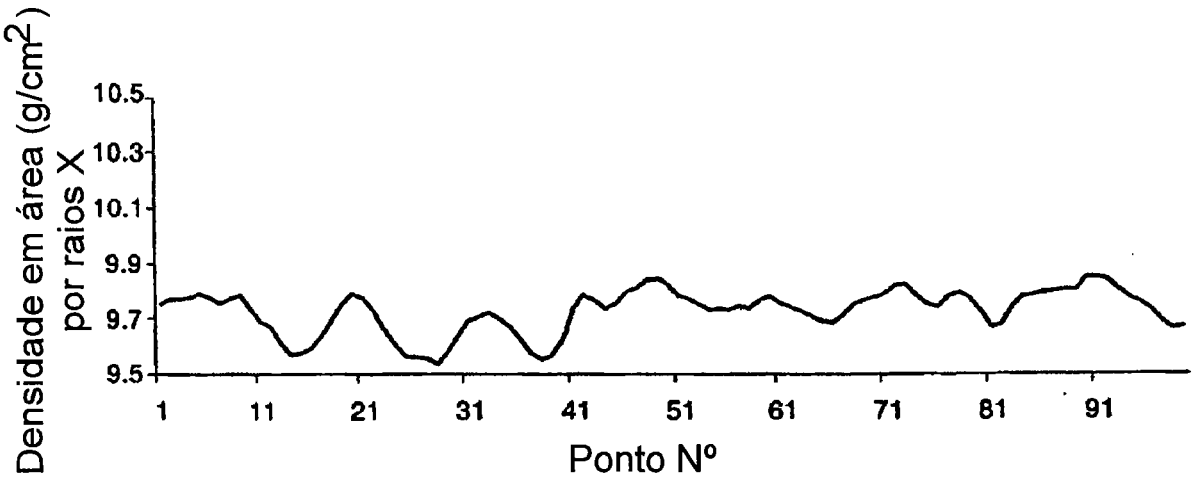


Fig. 9

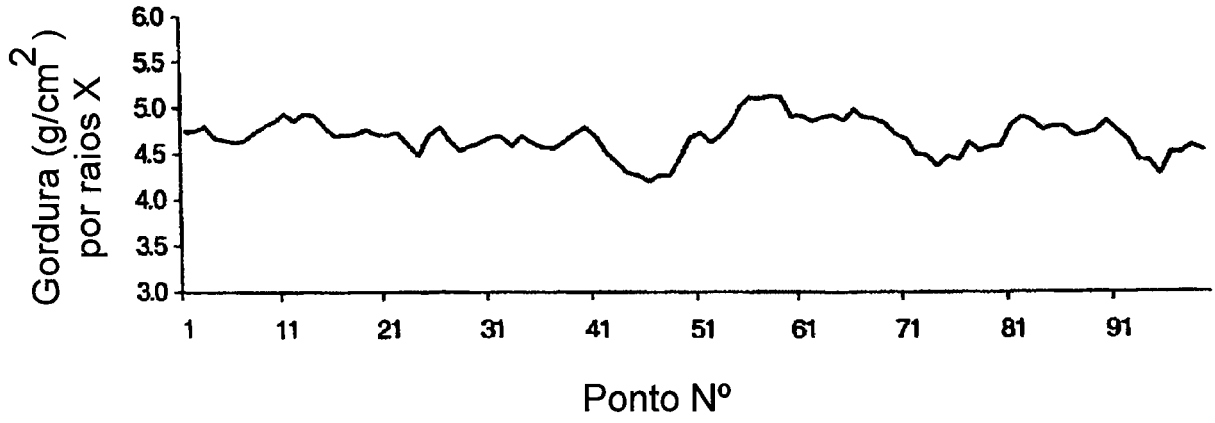


Fig. 10

Fig. 11

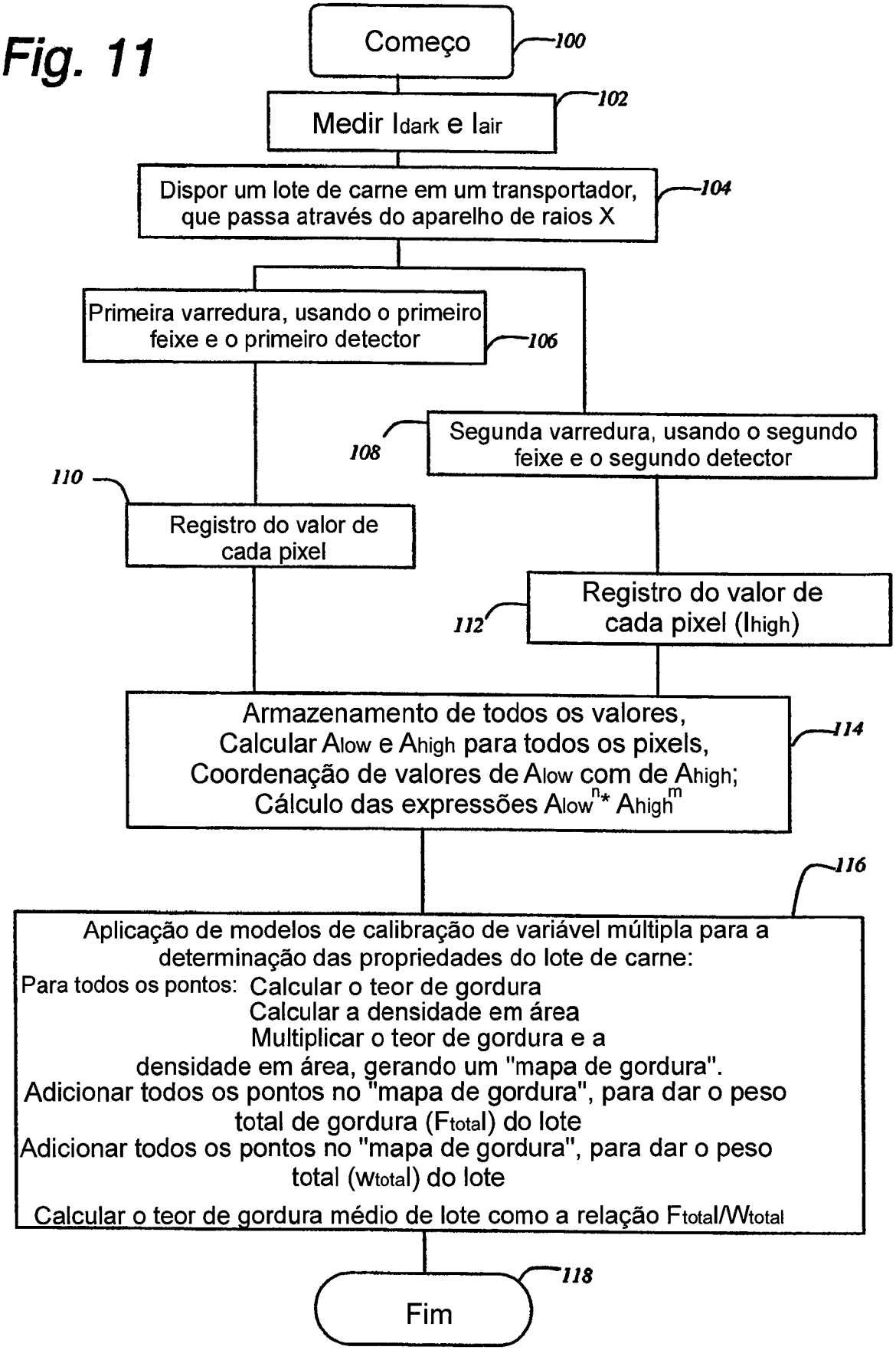
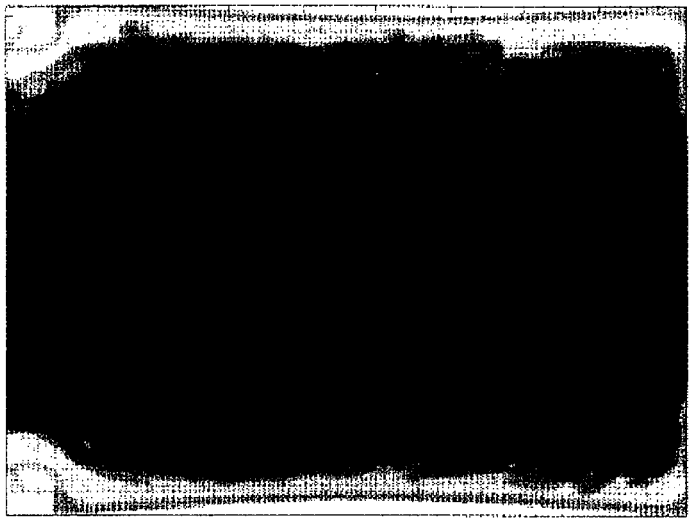

Começo
100
Medir Idark e Iair
102
Dispor um lote de carne em um transportador, que passa através do aparelho de raios X
104
Primeira varredura, usando o primeiro feixe e o primeiro detector
106
108
Segunda varredura, usando o segundo feixe e o segundo detector
110
Registro do valor de cada pixel
112
Registro do valor de cada pixel (Ihigh)
Armazenamento de todos os valores,
Calcular Alow e Ahigh para todos os pixels,
Coordenação de valores de Alow com de Ahigh;
Cálculo das expressões Alow^n * Ahigh^m
114
116
Aplicação de modelos de calibração de variável múltipla para a determinação das propriedades do lote de carne:
Para todos os pontos: Calcular o teor de gordura
Calcular a densidade em área
Multiplicar o teor de gordura e a densidade em área, gerando um "mapa de gordura".
Adicionar todos os pontos no "mapa de gordura", para dar o peso total de gordura (Ftotal) do lote
Adicionar todos os pontos no "mapa de gordura", para dar o peso total (Wtotal) do lote
Calcular o teor de gordura médio de lote como a relação Ftotal/Wtotal
118
Fim



Fig. 12



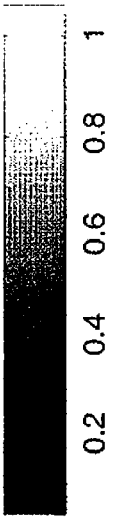
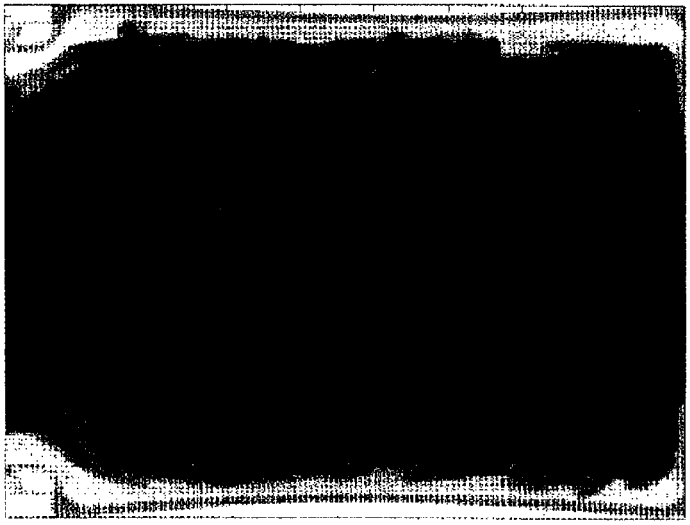
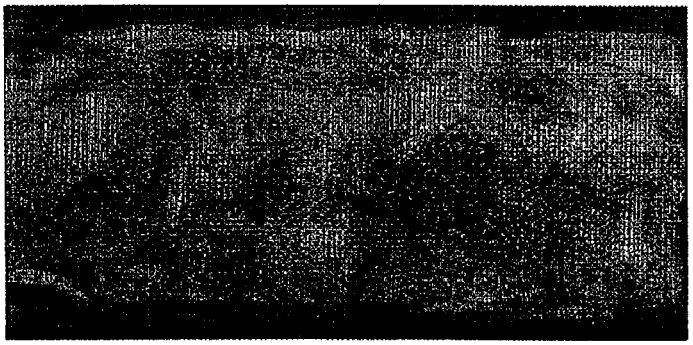

0.2
0.4
0.6
0.8
1
Transmissão de energia alta

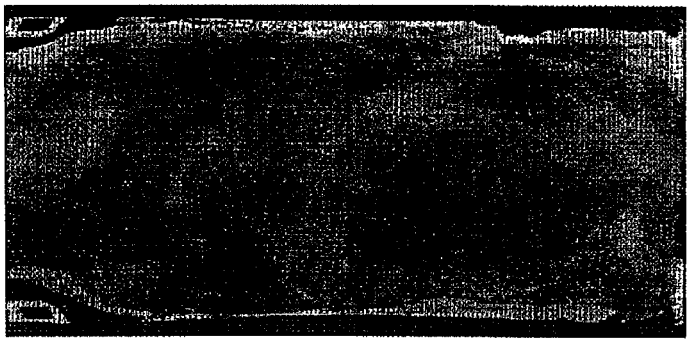
Fig. 14




0.2
0.4
0.6
0.8
1
Transmissão de energia baixa

Fig. 13







0 5 10 15

Densidade em área (g/cm^2)

Fig. 15

-100 0 100 200

Teor de gordura (%)

Fig. 16

-5 0 5 10 15

Mapa de gordura (g/cm^2)

Fig. 17

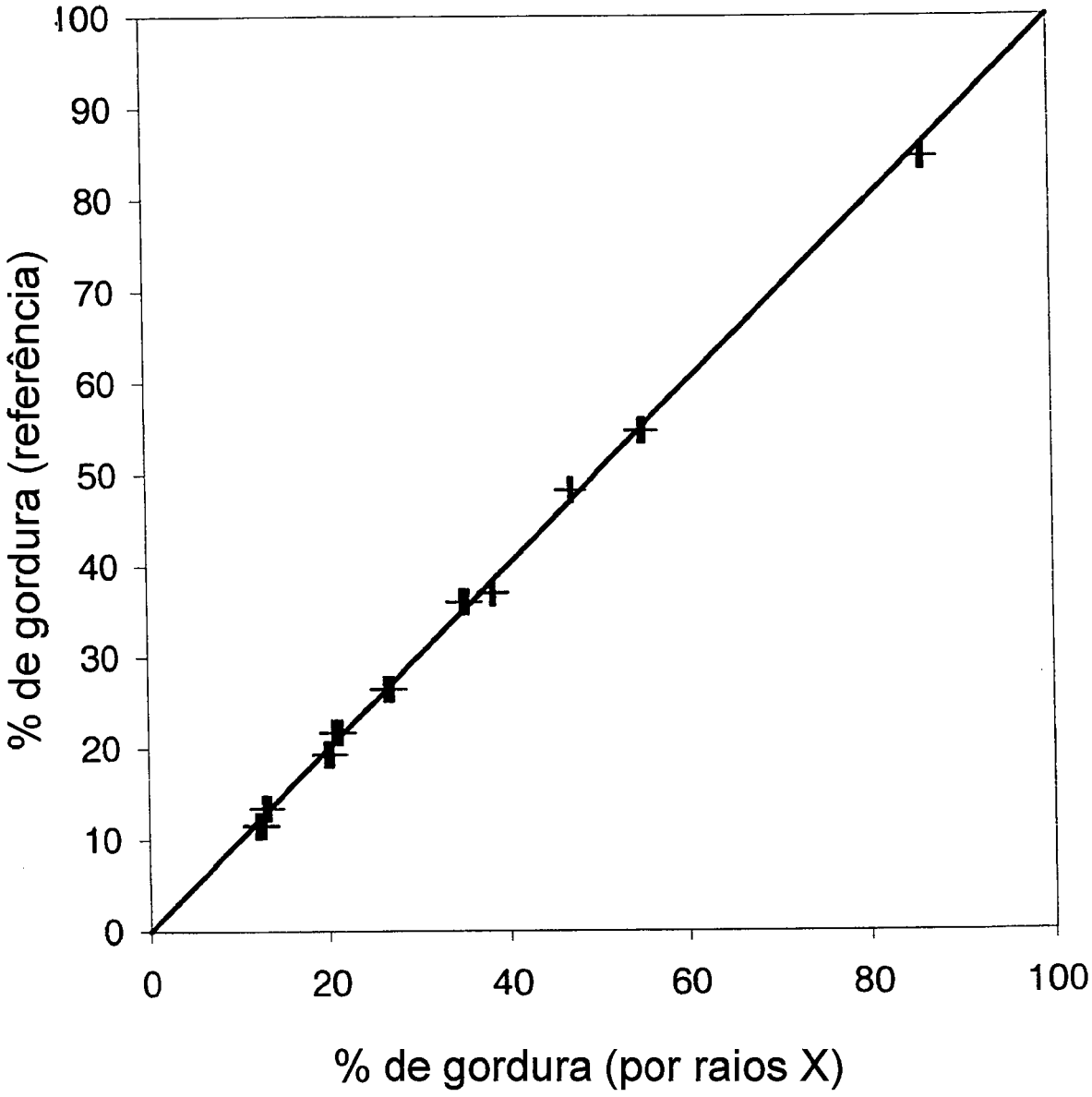

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
% de gordura (referência)
0
20
40
60
80
100
% de gordura (por raios X)

Fig.18

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO E APARELHO DE DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES DE UM MEIO DE ALIMENTO OU RAÇÃO E MÉTODO PARA A CALIBRAÇÃO DE APARELHO".**

A presente invenção refere-se a um método e um aparelho para a determinação de propriedades de um meio de alimento ou de ração, tal como o teor de gordura de carne, pelo uso de absorciometria de raios X dupla, o meio sendo uma matéria-prima de alimento ou de ração, um produto ou um produto intermediário de alimento ou de ração, ou um lote, uma amostra ou uma seção da mesma, especificamente, para uso em linha em um matadouro. O método compreende varrer substancialmente todo o meio por feixes de raios X (16, 18), que têm pelo menos dois níveis de energia, incluindo um nível baixo e um nível alto, a detecção dos feixes de raios X tendo passado através do meio, para uma pluralidade de áreas (pixels) do meio, para cada área, cálculo de um valor, (A_{low}), que representa a absorção na área do meio no nível de energia baixo, para cada área, calcular um valor, (A_{high}), que representa a absorção na área do meio no nível de energia alto. A acurácia da determinação é melhorada consideravelmente pela geração, para cada área, de uma pluralidade de valores sendo produtos do tipo $A_{low}^{n} * A_{high}^{m}$, em que n e m são números inteiros positivos e/ou negativos ou zero, e pela previsão das propriedades do meio nesta área, pela aplicação de um modelo de calibração à pluralidade de valores, em que o modelo de calibração define relações entre a pluralidade de valores e propriedades do meio.