



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,  
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102023015184-1 A2

(22) Data do Depósito: 28/07/2023

(43) Data da Publicação Nacional:  
11/02/2025

(54) **Título:** PROCESSO ÓPTICO PARA A ANÁLISE E SELEÇÃO DA QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ

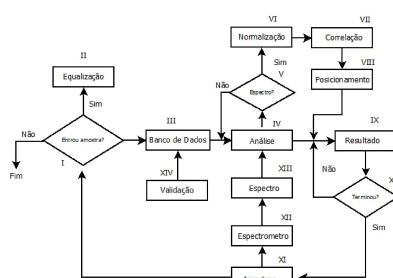
(51) **Int. Cl.:** G06V 10/70; G06V 10/40; G06V 10/20; G01N 21/25; G06F 3/00.

(52) **CPC:** G06V 10/70; G06V 10/40; G06V 10/20; G01N 21/25; G06F 3/005.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP.

(72) **Inventor(es):** JARBAS CAIADO DE CASTRO NETO; BRUNO PEREIRA DE OLIVEIRA.

(57) **Resumo:** PROCESSO ÓPTICO PARA A ANÁLISE E SELEÇÃO DA QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ. A presente invenção descreve um processo óptico com inteligência artificial para a seleção da qualidade de grãos, particularmente grãos de café verde ou torrados. Vantajosamente, o processo aqui descrito utiliza de forma in natura os grãos sem a necessidade de um pré-tratamento químico ou alteração física de qualquer tipo. O processo utiliza inicialmente a obtenção dos dados através da excitação dos grãos na faixa de UV-FTIR, no qual é gerado um range de dados espectrais que seguidamente são organizados em uma base de dados, normalizados e parametrizados; após isto são inseridos em uma análise matemático-estatística previamente treinada, na qual se aplicam métodos de linearização, regressão e a determinação da distância absoluta (distância euclidiana), em que há a capacidade de agregar os seus respectivos grupos, através de um processo de treinamento e testes previamente validados. Após esta determinação, o processo indicará o grupo pertencente da amostra, especificando qual a qualidade do grão analisado. Finalizando, o banco de informações é retroalimentado com esta nova informação processada; assim, após a realização desta etapa, é expresso o resultado do processo e mostrado ao usuário o grupo que a (...).



**PROCESSO ÓPTICO PARA A ANÁLISE E SELEÇÃO DA QUALIDADE DE  
GRÃOS DE CAFÉ**

**Campo da invenção:**

[001] A presente invenção se insere na área de física, química e engenharia de alimentos, mais especificamente no que se refere ao processo de identificação de qualidade de grãos verdes, e faz referência a um processo de identificação de qualidade de grãos de café verdes via técnicas não destrutivas de Fluorescência (UV-VIS) e infravermelho.

**Fundamentos da invenção:**

[002] O grão de café é estruturalmente constituído de materiais celulósicos e dopado de proteínas, cafeína, cafestol, lipídeos, ácido clorogênico, kahweol, terpenos e açúcares. Esta estruturação descrita varia para cada espécie em questão e as espécies de maior volume de consumo e produção são a Arábica e o Conilon; no entanto, até a presente escrita do texto existem aproximadamente 124 espécies de café no mundo.

[003] O processo para a qualificação e quantificação dos sabores sensoriais do café se inicia através do preparo de 300 gramas de amostras em um processo denominado de torração; esta etapa vislumbra o trabalho dos açúcares presentes e a formação de compostos iônicos e formação de novas conjecturas bioquímicas do fruto original. Para isso é inserido uma quantidade entre 0,3 e 2 kg de grãos em um equipamento denominado como torrador, no qual é trabalhado o binômio tempo e temperatura, em que cada operador irá determinar, com base em sua experiência, o ponto de finalização do processo de torração.

[004] São definidos três tipos de finalização das

torras, classificadas de acordo com a tonalidade adquirida no processo ao qual o café foi submetido. O grão verde é predominantemente azul-esverdeado/verde-claro, e após a torração adquire uma cor clara levemente amarronzada, sendo este o perfil de torra claro (tempo entre 8 a 11 min e temperatura 160 a 170 °C); se o grão se torna marrom opaco com características acentuadas, é denominada a região de torra média (tempo entre 10 a 18 min e temperatura entre 220 a 230°C), e por fim, se o grão apresenta uma tendência a cores escuras tais como preto ou característica oleosa, é denominado como sendo de torra escura (tempo entre 15 a 22 min e temperatura entre 220 a 253°C).

[005] O processo de torração se inicia com a quebra dos açúcares, devido às altas temperaturas em que as moléculas de açúcares são clivadas, e há a liberação de uma molécula de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor e compostos voláteis. Um bom desenvolvimento do binômio tempo e temperatura levará a uma formação de compostos agradáveis, já no caso de trabalho em altas temperaturas e/ou elevados tempos, se inicia a carbonização do fruto, perdendo assim todos os aspectos sensoriais adquiridos durante o seu cultivo.

[006] Esta etapa é crucialmente importante para análises sensoriais e definição das características em que o lote de fruto se encontra, pois, serão apresentadas as suas características após processamento dentro de uma torrefação, para assim ocorrer a chegada do produto dentro da casa do consumidor.

[007] Para que haja uma maior capacidade palato-gustativa, trabalha-se a análise sensorial em torras claras e levemente médias, sendo isto definido novamente pela

experiência do operador de qualidade e a origem do café. Atualmente, os termos mais comumente utilizados para a definição das qualidades sensoriais do café estão organizados em quatro grandes grupos que são:

[008] Café Especial: cujas principais características são aromas suaves com fortes fragrâncias adocicadas e uma constituição sensorial doce, leve, sem retrogosto e amargor na ingestão de bebida pronta. Cuja principal característica é a doçura e leveza; com pontuação sensorial acima de 80 pontos.

[009] Café Gourmet: apresenta certas semelhanças com o descrito acima, no entanto este compreende uma maior presença de corpo no palato e confere uma completude sensorial nas papilas gustativas. Cuja principal característica é um café mais encorpado e com menor característica de doçura; com pontuação sensorial entre 70 até 80 pontos.

[010] Café Rio: esta é uma bebida que não apresenta palatabilidade de doçura, mas um elevado corpo, e um retrogosto característico tendendo muitas das vezes a um café adstringente e forte corpo. Apresenta pontuação sensorial entre 60 até 70 pontos.

[011] Café Riado: esta é uma bebida que tem como característica um amargor acentuado, uma adstringência elevada e não apresenta aspectos de doçura e leveza, além de uma forte adstringência na boca após o seu consumo, perdurando por um tempo maior. Apresenta pontuação sensorial abaixo de 60 pontos.

[012] Atualmente, os métodos mais aplicados e difundidos consistem na aplicação dos protocolos idealizados pelo *SCAA Cupping* da Associação Americana de Cafés Especiais, em que

se faz a etapa de torração, separação de amostras em quintuplicada e avaliação em pares e/ou trios. Normalmente, são necessários três (3) avaliadores sendo que a decisão final é do mais experiente. Resumidamente, o processo consiste na obtenção das amostras, torração, medição da cor obtida, padronização da granulometria (mesh 20), infusão do grão torrado e moído em água mineral com  $\text{pH} < 7$ , sais  $< 200$  ppm e temperatura aproximada de  $93^{\circ}\text{C}$ . Além disso, descanso de 4 a 5 minutos e cada avaliador terá que preencher um questionário de onze (11) atributos, que são: Fragrância/Aroma, Uniformidade, Ausência de defeitos (xícara limpa), Doçura, Sabor, Acidez, Corpo, Finalização, Equilíbrio, Defeitos e Avaliação global. Em que cada item é pontuado até dez (10) pontos, e em seguida, aplicado álgebra e medida de pesos para a determinação da pontuação final do lote analisado.

[013] Esta análise ocorre em todas as compras, no início de produção e na formulação de blends. Ou seja, é uma rotina laboratorial cotidiana e corriqueira, que permite a busca da indústria pela uniformização, padronização de produto e qualidade e a negociação do preço pago na saca de café verde, pois cada característica da bebida é valorada de uma forma no mercado.

[014] No entanto, também tem, evidentemente, sido visto que a aplicação óptica vem ganhando destaque, bem como a utilização dos LED's (*light Emitting Diode*) e Lasers (Amplificação da luz por emissão estimulada por radiação), podendo ser estes utilizados em escalas temporais normais e em poucos segundos, havendo aplicações nas áreas tais como: química analítica, física, e engenharias de processo. E como

é difundido no estado da técnica, a luz tem capacidade de interação com moléculas, desde que, se conheçam os parâmetros de excitação capazes de interagir com as vibrações das ligações químicas. E, uma das técnicas que separadamente tem capacidade de excitação de moléculas individuais e/ou soluções é a fluorescência na faixa de UV-visível, pois há um comprimento de onda de excitação em que a molécula absorve energia e conseqüentemente é excitada e uma liberação de energia em um comprimento de onda de menor energia, podendo ser emissão por conversão interna, relaxação vibracional das ligações ou via cruzamento por intersistemas energéticos.

[015] Ou seja, a molécula recebe e absorve um comprimento de onda mais energético, se eleva do seu estado fundamental para o de excitação e, seguidamente, volta para o seu estado de origem energética emitindo assim comprimentos de ondas de menores energias. E a varredura destes comprimentos de onda de absorção emitidos pelos compostos químicos formam o espectro do composto, chamado em muitos casos como "RG óptico" sendo este fenômeno definido como luminescência.

[016] No entanto, há uma outra técnica na qual se trabalham os conceitos vibracionais das moléculas, em que a onda eletromagnética altera a orientação molecular, mas as distâncias entre os núcleos se alteram sem mudar o centro de massa. Assim, temos a vibração interna que consiste em um estiramento e deformação longitudinal das ligações químicas, que é a oscilação, tesoura, balanço e torção da molécula que é submetida à interação de comprimentos de ondas na região do infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho distante.

[017] A interação de infravermelho envolve o componente

elétrico oscilante da radiação eletromagnética com o momento de dipolo oscilante da molécula. As técnicas de luminescência/fluorescência podem trabalhar de maneiras separadas ou sinérgicas para as análises e interações com o conjunto molecular. Pois a fenomenologia é diferente, assim obtendo resultados complementares, inteiros ou parciais das informações contidas nas moléculas. Logo, a obtenção de um espectro com ambas as técnicas é visualmente característica e há um conjunto de espectrômetro específico para perfazer a leitura dos resultados para cada composto em questão.

[018] Em vista do exposto acima, nota-se que a “receita ideal” de um processo de avaliação da qualidade da bebida se faz de forma subjetiva e sujeita a variação, pois cada degustador em questão possui uma experiência e uma memória referente ao perfil sensorial que é realizada predominantemente por humanos. Além disso, cada indústria tem total liberdade para misturas de sabores e espécies.

[019] Com isso, é visto que a análise sensorial se baseia na composição química de cada espécie, gênero e/ou origem dos grãos de cafés, pois nestes há uma variação nas concentrações tais como de proteína, ácido clorogênico e açúcares. E tal fato faz com que haja uma diferenciação na entrega sensorial da bebida final.

[020] Diante do exposto e de forma a solucionar o problema técnico existente e descrito anteriormente, o referido processo da presente invenção utiliza inicialmente a obtenção dos dados através da excitação dos grãos na faixa de UV-FTIR, no qual é gerado um range de dados espectrais que seguidamente são organizados em uma base de dados, normalizados e parametrizados; após isto são inseridos em

uma análise matemático-estatística previamente treinada, na qual se aplicam métodos de linearização, regressão e a determinação da distância absoluta (distância euclidiana), em que há a capacidade de agregar os seus respectivos grupos, através de um processo de treinamento e testes previamente validados.

[021] Após esta determinação, o processo indicará o grupo pertencente da amostra, especificando qual a qualidade do grão analisado. Finalizando, o banco de informações é retroalimentado com esta nova informação processada; assim, após a realização desta etapa, é expresso o resultado do processo e mostrado ao usuário o grupo que a amostra pertence, finalizando o teste de correlação e linearidade. O objeto de análise é adicionado como um novo dado ao banco já previamente existente, cujo intuito é obter resultados amostrais atualizados e contínuos. Este é equalizado e liberado para uma nova análise de qualidade de grãos verdes.

#### **Estado da Técnica**

[022] O documento PI07027710A descreve um processo para melhorar o sabor do café torrado de qualidade robusta e arábica, grãos de café, mediante modificação dos precursores do sabor do café torrado nos extratos aquosos dos grãos de café verde, por meio de um processo químico que aprimora alguns compostos químicos presentes na estrutura base do grão verde. Este documento difere totalmente da presente invenção, pois nesta não se faz a aplicação de quaisquer agentes químicos e/ou modificação em sua estrutura original, e sim realiza de forma não destrutiva as análises de qualidade.

[023] No documento PI8905220A descreve-se uma



aparelhagem para avaliação da qualidade de grãos de café; este objeto de invenção descreve um sistema que recebe amostras de grãos de café verdes e/ou torrados que são inseridos em um compartimento prévio e moídos, seguidamente pressionados e pulverizados na presença de uma pá rotativa no eixo normal cartesiano, de forma a passarem por furos presentes em uma chapa de modo a padronizar a granulometria. Na sua ortogonal há uma fonte emissora de luz que passa pelo grânulos de café pulverizados e são captados através de dispositivos óptico-eletrônicos; em seguida, o filtro é limpo para a próxima análise. Para a identificação foi inserido empiricamente equações a um conjunto específico de compostos químicos presentes no grão, porém, o mesmo objeto não aplica métodos interativos e há necessidade de destruição da amostra. Fato que difere em sua totalidade da presente invenção, pois não há destruição da amostra e o processo de análise ocorre de maneira dinâmica e em tempo real, sendo retroalimentado e aplicado métodos de inteligência artificial ao banco de dados, não se fazendo necessária a destruição das amostras.

[024] Como já foi descrito, a variação sensorial de amostras de cafés verdes e/ou processos ocorre proporcionalmente aos métodos de torração aplicados e com as origens e pré-processamento realizados para a secagem de cada lote de fruto maduro comercializado no mundo.

[025] Em BR1020160177111 descreve-se uma máquina de quantificação de unidades de café consumido em um ponto de vendas, cujo objetivo é assegurar estritamente a procedência do produto de café torrado em grãos, esta refere-se a um mecanismo de NFC (*Near Field Communication*) ou por frequência

de rádio. Diferentemente, o processo ora descrito na presente invenção se utiliza da obtenção de espectros dos grãos de café e faz referência a utilização de aplicação de métodos de inteligência artificial.

[026] Em US9804081B2, descreve-se um equipamento e método para o processamento em casa de grãos de café via fonte emissora de luz, mas o objetivo é o desenvolvimento do sabor da bebida sendo expresso ou cappuccino; a rotina inclui entradas de volume e força da bebida.

[027] No documento BR202018014743 é descrito um sistema automático para a classificação eletrônica de amostras de grãos de café por processamento de imagem, diferentemente do presente objeto, no qual não se aplica a utilização de imagem, e de fato a análise espectral, ou seja, a luminescência e/ou fluorescência dos compostos químicos presentes na constituição química do café.

[028] É salientado ainda que as classificadoras descritas no estado da técnica mensuram a propriedade puramente física dos grãos, assim é uma relação de largura *versus* comprimento, grãos quebrados, variação de cores via formação da imagem. Fato que, está previamente descrito na fundamentação desta invenção.

[029] O artigo científico intitulado de "*Quality of coffee beans through computer vision and machine learning algorithms*", refere-se também a obtenção de dados via aquisição de imagem do grão nas mais diversas formas, sendo elas verde, preto, ardido, quebrado. Seguido de uma análise da composição RGB das imagens, em que se utilizou o método de contornar os grãos BLOB's, que consiste em uma coleção de dados binários armazenados como uma única entidade em um

sistema de gerenciamento no banco de dados. Ou seja, é um método totalmente divergente do proposto pela presente patente.

[030] O documento TW202116427A descreve um dispositivo que tem capacidade de visualizar e captar a imagem de um grão de café em uma esteira de fluxo contínuo; e através de mecanismos mecânicos, separar os grãos e com aplicação de inteligência artificial desenvolver o aprendizado e melhoria da seleção, fato diametralmente oposto ao presente objeto ora pleiteado.

[031] O documento denominado "*Application of multispectral imaging combined with machine learning models to discriminate special and traditional green coffee*", como propriamente dito, refere-se à aplicação de imagens multiespectrais utilizando o modelo de aprendizado de máquina em dois tipos de cafés previamente separados e avaliados, sendo um especial e outro tradicional. Pois, o presente documento propõe a geração de uma imagem dos cafés e avalia as características presentes nos *pixels* da imagem gerada para cada grupo de café em questão; assim faz a fotografia de um conjunto de grão. Fato que difere em sua totalidade do presente pedido, no qual, é aplicada uma fonte emissora de luz nos comprimentos de ondas indicados, os compostos orgânicos presentes na constituição do grão absorvem e emitem comprimentos de ondas menos energéticos, e com isso obtém-se a energia inicial e a sua forma quando se tem a varredura espectral, ou seja, criando o espectro eletromagnético de uma amostra qualquer.

[032] Já o documento WO2007099008A1, aborda um processo via uma esteira no qual se faz a visualização da estrutura

superficial (topografia) do grão em que se observam fatores de qualidade, especialmente a superfície e a conformação da mesma. Isto denota total diferença em relação à presente invenção, pois, o referido objeto tem como capacidade o envio de um feixe luminoso na bebida para determinar o perfil de bebida selecionada pelo consumidor final; não há o objetivo de qualificar ou quantificar a qualidade dos grãos de café verdes e/ou torrados, mas sim desenvolver informações base para se perfazer uma bebida conforme as características de seleção do consumidor.

[033] A partir das características acima mencionadas ficou evidenciado que a presente invenção difere totalmente dos documentos encontrados no estado da técnica.

**Breve descrição da invenção:**

[034] A presente invenção descreve um processo de análise da qualidade dos grãos de café verdes de forma não destrutiva. O processo envolve a obtenção de um espectro de um conjunto de amostras através das técnicas de luminescência e/ou infravermelho, seguido de uma comparação computacional e decisão via métodos lineares e/ou não lineares de inteligência artificial e expressão dos resultados das amostras identificando o grupo a que são pertencentes. Este processo é retroalimentado para atualização e aumento da capacidade decisiva do processo fotoanalítico e melhoramento/incremento do banco de dados previamente construído, treinado, avaliado e testado.

**Breve descrição das figuras:**

[035] Para obter uma total e completa visualização do objeto desta invenção, são apresentadas as figuras as quais se faz referências, conforme se segue.

[036] Na figura 1A é representado esquematicamente o fluxograma do processo global de análise e definição do grupo a que pertence o grão de café baseado na inserção de uma amostra não identificada, proposto na presente invenção.

[037] Na figura 1B é apresentado um fluxograma com as etapas de construção do banco de dados utilizado de forma prévia para a equalização e desenvolvimento de laços decisoriais para as ferramentas de inteligência artificial a serem aplicadas e de forma retroalimentada, após a análise da amostra desconhecida. As informações serão incluídas na biblioteca para aumento da capacidade de decisão do processo da referente invenção.

[038] Na figura 2 são representados os espectros eletromagnéticos dos grãos de café verdes obtidos na presente invenção. É possível observar os espectros de fluorescências obtidos na faixa do UV-Vis em um conjunto de grãos em diferentes classificações de bebidas.

[039] Na figura 3 é mostrado um espectro eletromagnético de um conjunto de grãos obtidos na faixa do infravermelho, também utilizados para a plotagem dos espectros de fluorescência.

[040] Nas figuras 4A e 4B estão representados os valores previamente obtidos para exemplificação da capacidade de um conjunto de dados de grãos de café em se agruparem (organizarem), obtidos de forma experimental na presente invenção.

[041] A figura 5 representa uma outra forma de se obter o agrupamento dos valores, baseado na organização e cálculos de distâncias absolutas, visando um agrupamento que auxilie os métodos de inteligência artificial nas decisões

referentes aos grupos das amostras a serem analisadas.

**Descrição detalhada da invenção:**

[042] A presente invenção refere-se a um processo que envolve as etapas de coleta de espectro com uso de um feixe de luz, armazenamento de dados dos espectros, avaliação comparativa dos espectros das amostras e retroalimentação de um banco de dados original, no qual se utiliza uma metodologia específica (software) e conceitos de inteligência artificial, que permite a identificação de qualidade de grãos de café verdes via técnicas de fluorescência (UV-VIS) com uma faixa preferencial de trabalho entre 180 a 600 nm e infravermelho com faixa de trabalho entre 700 nm a 1 mm, não havendo a necessidade de qualquer alteração física ou química dos referidos grãos.

[043] Desse modo, o processo envolve a emissão de luz nas faixas UV-Vis e infravermelho, conferindo a utilização de técnicas espectroscópicas tais como fluorescência, reflexão ou relaxação. Vantajosamente, o processo aqui descrito utiliza de forma *in natura* os grãos sem a necessidade de um pré-tratamento químico ou alteração física de qualquer tipo.

[044] Conforme mostrado na figura 1A, o processo pode ser dividido em três grandes etapas principais, nas quais: a primeira etapa principal (1) diz respeito a analisar pelo meio geral e operacional (que pode ser um computador) a aquisição dos dados de valores espectrais com o comprimento de onda preferencialmente aplicado na faixa entre 180 e 600 nm, isto é, obtido na etapa XII.

[045] Antes desta referida etapa (1), é realizada uma etapa de coleta de espectro com uso de um feixe de luz, de

forma a realizar a obtenção dos espectros. As amostras são iluminadas, gerando assim, a excitação da amostra (XI) com a utilização de lasers ou LED. Este procedimento ocorre de forma instantânea, gerando assim resultados que são analisados num espectrômetro (XII) para obtenção e visualização dos espectros (XIII), também de forma instantânea.

[046] A segunda etapa principal (2) é a análise e identificação (IV) da amostra em questão, pelo meio de estruturação (podendo ser um computador). Isto é, após a obtenção de uma matriz  $M \times N$ , a partir dos espectros obtidos, inicialmente são realizados tratamentos matemáticos, para a normalização (VI), validação e/ou agrupamentos das informações obtidas.

[047] Um exemplo de tratamento aplicando a normalização é a divisão de todos os espectros pelo espectro de maior intensidade, assim se normaliza todos os dados em relação ao maior valor e seguidamente se verifica se todas as colunas  $M \times N$  estão preenchidas, caso não, perfaz-se o preenchimento aplicado à média dos valores imediatamente superior e inferior.

[048] A terceira etapa principal (3) do processo compreende utilizar e executar um software (conjunto de instruções executados por computador) embarcado (por exemplo em um processador ou computador) que compreende um banco de dados (III), com capacidade de análise e ligação de todos os pontos operacionais inseridos anteriormente, como por exemplo os dados dos espectros das amostras, e executá-los no processo de seleção do café. De forma a esclarecer as etapas ou conjunto de instruções do software, são descritas

a seguir as referidas subetapas da etapa (3), sendo estas agrupadas em seis módulos ou subetapas funcionais, assim estruturados:

[049] Etapa 3.1: coletar, armazenar e tratar os dados das análises espectroscópicas realizadas pelo protocolo *SCAA cupping*, conforme descrito no capítulo 8 do livro *the Craft and Science of Coffee* - (LINGLE, Ted R.; MENON, Sunalini N. *Cupping and grading-Discovering character and quality*. In: *The craft and science of coffee*. Academic Press, 2017. p. 181-203.) em seguida, calcular e visualizar o resultado da amostra analisada via o método de análise sensorial. Esta etapa se inicia para o treinamento de uma região em específico e inserção de uma nova região de análise e/ou tipo de café.

[050] Etapa 3.2: esta etapa consiste em realizar a decodificação dos dados emitidos pelo conjunto optrônico (laser e/ou LED's e espectrômetro) do sistema de aquisição dos espectros, podendo ser pelos métodos/mecanismos de fluorescência, FTIR, RAMAN e/ou reflexão, padronização, realizando a leitura e impressão na tela do computador dos dados. Em seguida, realizar o armazenamento em uma variável temporária com adição ao banco de dados.

[051] Etapa 3.3: interpretar os dados dos módulos/subetapas anteriores, pois nesta etapa se faz a aplicação do conceito e protocolos de redes neurais, e aplicação de métodos de inteligência artificial, tais como: *SVM (Support Vector Machine)*, *RF (Random Forest)*, *XGBoost (Extreme Gradient Boosting)* e *CatBoost (Categorical Boosting)*, preferencialmente *SVM (Support Vector Machine)* e rede neural.



[052] A definição de qual protocolo a ser utilizado será decidida para cada conjunto de amostra e para cada região produtora; no entanto, o usuário não terá poder de escolha, pois a escolha será de forma autônoma, e será impressa de acordo com o grupo pertencente da amostra.

[053] Etapa 3.4: avaliar o perfil propriamente dito da bebida, e a realizar a obtenção dos resultados baseado em sua liga e perfil sensorial final da bebida, conforme aqueles estabelecidos no fluxograma na etapa quarenta (figura 2A), que são os tipos de bebidas especial, gourmet, rio e riado.

[054] Etapa 3.5: definir e determinar a constituição de gêneros do café e/ou tipos de café (Especial, Gourmet, Riado e Rio), isto é, a liga do produto café torrado e a sua participação na composição do produto final.

[055] Etapa 3.6: realizar a determinação e a identificação de compostos não pertencentes ao produto denominado café, um exemplo seria a adição/presença de outras oleaginosas não pertencentes ao grupo botânico *Rubiaceae* do gênero *Coffea L.*

[056] A figura 1A representa o fluxograma do processo para o funcionamento das etapas de todo um ecossistema que tenha capacidade de obtenção, avaliação e interpretação dos resultados, logo é considerado como um fluxograma operacional macro de todas as etapas e operações contidas no presente objeto de pedido de patente, e que ocorrem em consonância com o conjunto dos equipamentos que são utilizados para realização do processo, como computadores, espectrômetros, laser ou LED's.

[057] Por outro lado, na figura 1B, é mostrado um fluxograma do funcionamento das etapas de processo que

ocorrem no *software* (caracterizado por um conjunto de instruções executado no computador) e que será um dos mecanismos utilizados no processo para seu perfeito funcionamento.

[058] Assim, o processo se inicia e compreende as etapas I (um) até XXX (trinta) (fig. 1 A e B). Após a obtenção dos espectros por meio de vias técnicas ópticas de um conjunto de grão de café (amostra), é possível a geração de um conjunto de informações de espectrometrias em sua totalidade e com um alto grau de constituintes em uma pequena amostra, fazendo com que haja uma sobreposição amostral de cada composto químico que de forma individual apresenta espectros característicos e, em grandes quantidades uma sobreposição destes.

[059] Dessa forma, criando um dado amostral bruto, e visualmente sobreposto, quando o mesmo é avaliado por olho humano. Para a formação deste espectro, se faz necessária a constituição de um conjunto óptico, em que se é definida uma fonte de excitação via um laser, podendo ser de estado sólido, gás, líquido ou fibra.

[060] No entanto, também poderá aplicar um conjunto de LED's, para a formação da fonte de excitação. A fonte de excitação é o primeiro passo para que o comprimento de onda aplicado compreenda a faixa de 100 - 2000 nm.

[061] Em seguida, este feixe faz a interação com um conjunto de amostra de café, que compreende a faixa de 5 - 100 g de café verde, interage com o mesmo e emite comprimento de onda na faixa de UV-VIS até infravermelho.

[062] A leitura dos dados é realizada por um conjunto de grades de difração, que em seu estado final está presente um

fotodetector transdutor que tem capacidade de transformar a onda em pulsos eletrônicos; em seguida, software embarcado faz a tradução destes resultados de pulsos eletrônicos em um conjunto de dados em duas dimensões  $x$  e  $y$  (etapa IV).

[063] Com isso, se cria o espectro que é uma matriz  $M \times N$ , bidimensional  $(x, y)$ , em que o eixo " $x$ " representa os comprimentos de onda e o eixo " $y$ " representa a intensidade dos picos para cada comprimento de onda específico.

[064] Logo, tem-se um conjunto de amostras de um mesmo grupo no qual testes de normalidade positivos são obtidos. Isto é, se comporta como uma gaussiana quando se avoluma a amostragem, tendendo ao infinito a quantidade de amostras obtidas.

[065] Tem-se a possibilidade de perfazer a aplicação de técnicas de normalização, regressão e agrupamento para conjunto de matriz  $M \times N$ , que é definida pelo conjunto de amostras de cafés especial, gourmet, riado, rio.

[066] Estes conceitos são a base fundamental para a aplicação de inteligência artificial e aplicação de métodos de decisão tais como: *deep learning*, *machine learning*, redes neurais, os quais têm como centro fundamental o trabalho de matriz nas mais diversas dimensões e variações, para isto é necessário adquirir um conjunto de matrizes (dados), e normalizar pelo máximo valor de intensidade. Seguidamente, linearizar e agrupar de acordo com uma distância absoluta.

[067] Consequentemente e de forma computacional, é desenvolvido um processo divisionário de caminho de decisão/comparação para cada amostra a ser analisada e comparando com um banco de dados previamente obtido e analisado, presente no software que foi desenvolvido para o

processo, conforme as instruções descritas nas etapas.

[068] Assim, para a aplicação na identificação da qualidade das amostras de café, se faz necessário o desenvolvimento de um processo de obtenção, armazenamento, comparação, tratamento e entrega do resultado de análise e seleção das amostras de grãos de café.

#### **Exemplo de concretização**

[069] Durante o desenvolvimento do presente objeto de proteção, foi possível obter resultados com a sua utilização que provam a eficácia na resolução do problema técnico em questão.

[070] Para um melhor entendimento de fluxo experimental, e entendimento do que foi transcorrido para as amostras que foram analisadas, primeiramente se utilizou nesta exemplificação a seleção do comprimento de onda na faixa de 400 nm.

[071] Seguidamente, e de forma paralela preparou-se previamente uma amostra de café cru, em que se tem o conhecimento do perfil de bebida e este está classificado via a escala *SCAA cupping*, agrupando-as em quatro tipos de café, que são: Especial, Gourmet, Riado e Rio.

[072] Assim, já com o laser preparado para emissão de um feixe, posicionou-se a amostra em um total de 100 amostras pertencentes aos 4 grupos, sendo 25 amostras em cada um dos grupos. Logo, aplicou-se a cada um o mesmo feixe, que está frontalmente exposto a amostra, para que se tenha o objetivo de excitação da superfície dela.

[073] Continuamente, após a excitação, as referidas amostras analisadas emitiram o que se denomina fluorescência e para obter a leitura completa, o conjunto experimental é

composto por um equipamento denominado grade de difração.

[074] A grade de difração tem o objetivo de separar o fluxo luminoso de forma a variar a sua velocidade devido a variação do comprimento de onda, assim um fotodetector, posicionado após esta grade tem a capacidade de leitura destes feixes e a formação da composição base do espectro.

[075] Este processo ocorre entre as etapas XI, XII, XIII, IV e V, pois toda a construção de leitura para a formação do espectro (XIII), consistentemente necessitará de um espectrômetro (XII) e o resultado da amostra (XI) interagindo com estes feixes e ao mesmo tempo medindo o comportamento resultante, tem-se a formação do espectro (XIII), o qual resultará nos dados de entrada para análise (IV) e continuidade em todo o fluxo do processo.(figura 1A)

[076] Na Figura 2 é mostrada a capacidade de obtenção dos espectros eletromagnéticos do café verde cru. Este experimento é inicialmente realizado para obter-se a prova de princípio e desenvolver a compreensão de como é o comportamento para cada grande grupo de bebida do café.

[077] É evidenciado que em cada conjunto de grupo se obtém um determinado comportamento, fato que estes são testes realizados para uma inicial compreensão do comportamento espectral de fluorescência das amostras.

[078] Já na Figura 3 está representado um gráfico em que foram realizadas as medições do mesmo grupo de amostras de café supracitado na faixa de infravermelho, e inicialmente evidenciado a sua diferenciação por cada grande conjunto de dados.

[079] As Figuras 4A e 4B exemplificam que, logo após a obtenção dos dados brutos das figuras 2 e 3, seguidamente é

realizado um teste matemático-estatístico no qual foi analisado o que se chama componente principal do grupo. Ou seja, a capacidade destas amostras se agruparem com seus respectivos pares e semelhantes. Isto se faz necessário para a fundamentação e a capacidade de reprodutibilidade experimental do presente objeto de pedido de proteção.

[080] E por fim, na figura 5 está sendo representado, de forma inicial o comportamento da distância absoluta para cada grupo amostral, partindo como sendo o ponto 0 a amostra considerada o melhor produto de café cru e o seu sucessivo comportamento. É visto que, conforme a qualidade do grão decai, de forma direta e proporcional ocorre o distanciamento frente à comparação ao melhor produto, e o fato inverso ocorre com o mesmo comportamento.

[081] Diante do exposto, os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

### REIVINDICAÇÕES

1. Processo de análise e seleção da qualidade de grãos de café **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas principais de:

1) Analisar a aquisição dos valores espectrais obtidos com a excitação da amostra do grão por meio da utilização de lasers e/ou LED's com o comprimento de onda preferencialmente aplicado na faixa entre 180 e 600 nm;

2) Analisar e identificar, pelo meio de estruturação, a amostra utilizada, em que após a obtenção de uma matriz M X N, se faz inicialmente tratamentos matemáticos, para a normalização (VI) e a validação e agrupamentos das informações obtidas; e

3) Executar um conjunto de instruções implementadas por computador, com capacidade de análise e seleção de amostras a partir de todos os pontos operacionais inseridos nas etapas anteriores.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de a excitação das amostras ser realizada nas faixas UV-Vis e infravermelho, com posterior utilização de técnicas espectroscópicas tais como fluorescência, reflexão ou relaxação.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de a etapa (3) compreender ainda uma subetapa 3.1) que compreende coletar, armazenar e tratar os dados das análises espectroscópicas realizadas pelo protocolo *SCAA cupping*, e ainda calcular e imprimir o resultado da amostra analisada via análise sensorial.

4. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de a etapa (3)

compreender ainda uma subetapa 3.2) em que ocorre a decodificação dos dados emitidos pelo conjunto optrônico pelos mecanismos de fluorescência, FTIR, RAMAN e/ou reflexão.

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato de na subetapa 3.2) ocorrer ainda a leitura e impressão dos dados e armazenamento em uma variável temporária com adição ao banco de dados.

6. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato de a etapa (3) compreender ainda uma subetapa 3.3) em que ocorre a interpretação dos dados com aplicação de conceitos e protocolos de redes neurais, e aplicação de métodos de inteligência artificiais, como SVM (*Support Vector Machine*), RF (*Random Forest*), XGBoost (*Extreme Gradient Boosting*) e CatBoost (*Categorical Boosting*), preferencialmente SVM (*Support Vector Machine*) e rede neural.

7. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de a etapa (3) compreender ainda uma subetapa 3.4) em que ocorre a avaliação do perfil propriamente dito da bebida, a realização a obtenção dos resultados baseado em sua liga e perfil sensorial final da bebida.

8. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado** pelo fato de a etapa (3) compreender ainda uma subetapa 3.5) em que ocorre a definição e determinação da constituição de gêneros do café, a liga do produto café torrado e a sua participação na composição do produto final.



9. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizado** pelo fato de os gêneros do café serem preferencialmente Especial, Gourmet, Riado e Rio.

10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado** pelo fato de a etapa (3) compreender ainda uma subetapa 3.6) em que ocorre a determinação e a identificação de compostos não pertencentes ao produto denominado café.

11. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, **caracterizado** pelo fato de os compostos não pertencentes ao produto denominado café ser a adição ou presença de outras oleaginosas não pertencentes ao grupo botânico Rubiaceae do gênero Coffea L.

12. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizado** pelo fato de o conjunto óptico compreender um conjunto de LED'S ou uma fonte de excitação via um LASER, podendo ser de estado sólido, gás, líquido ou fibra.

13. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, **caracterizado** pelo fato de a leitura dos dados ser realizada por um conjunto de grades de difração, em que seu estado final está presente um fotodetector transdutor com capacidade de transformar a onda em pulsos eletrônicos.

14. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, **caracterizado** pelo fato de o conjunto de instruções executadas por computador traduzir os resultados de pulsos eletrônicos em um conjunto de dados em duas dimensões x e y, correspondente à matriz MxN.

15. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, **caracterizado** pelo fato de o eixo "x" representar os comprimentos de onda e o eixo "y" representar a intensidade dos picos para cada comprimento de onda específico.

16. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 15, **caracterizado** pelo fato de opcionalmente perfazer-se a aplicação de técnicas de normalização, regressão e agrupamento para conjunto de matriz  $M \times N$ .

17. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16, **caracterizado** pelo fato de após a normalização dos dados das matrizes, realizar a linearização e agrupamentos das amostras de acordo com uma distância absoluta.

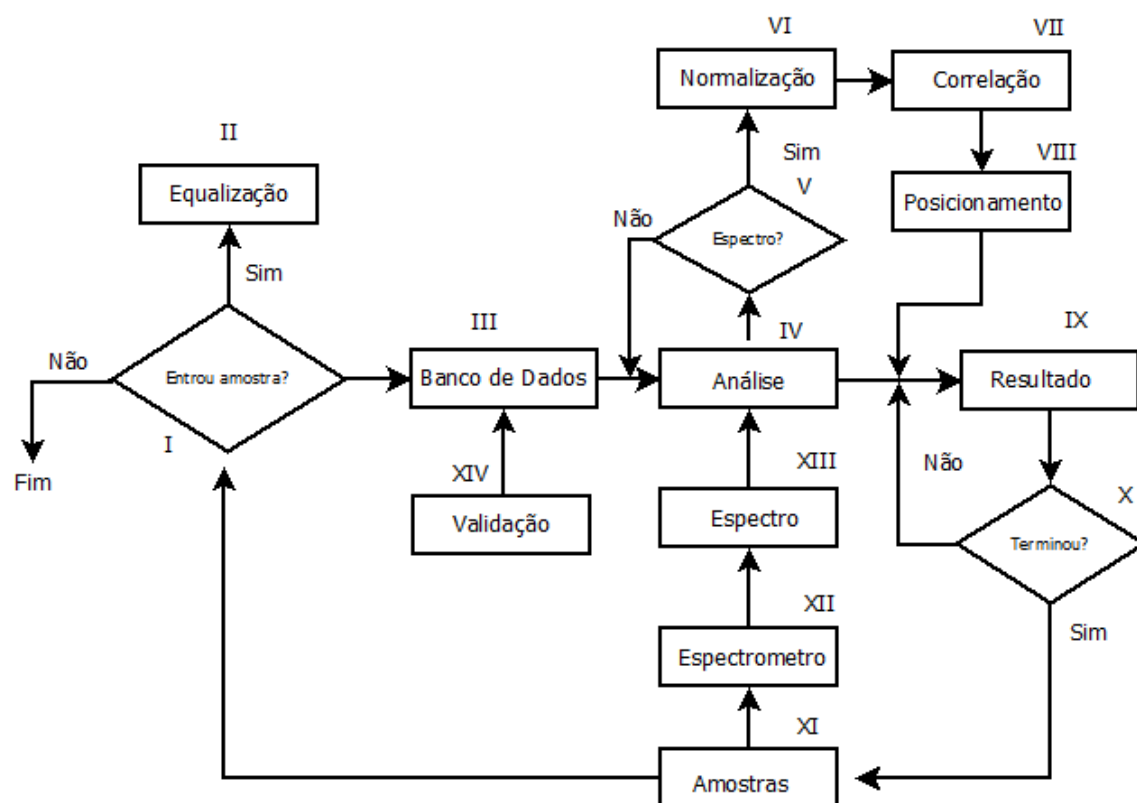


FIGURA 1A

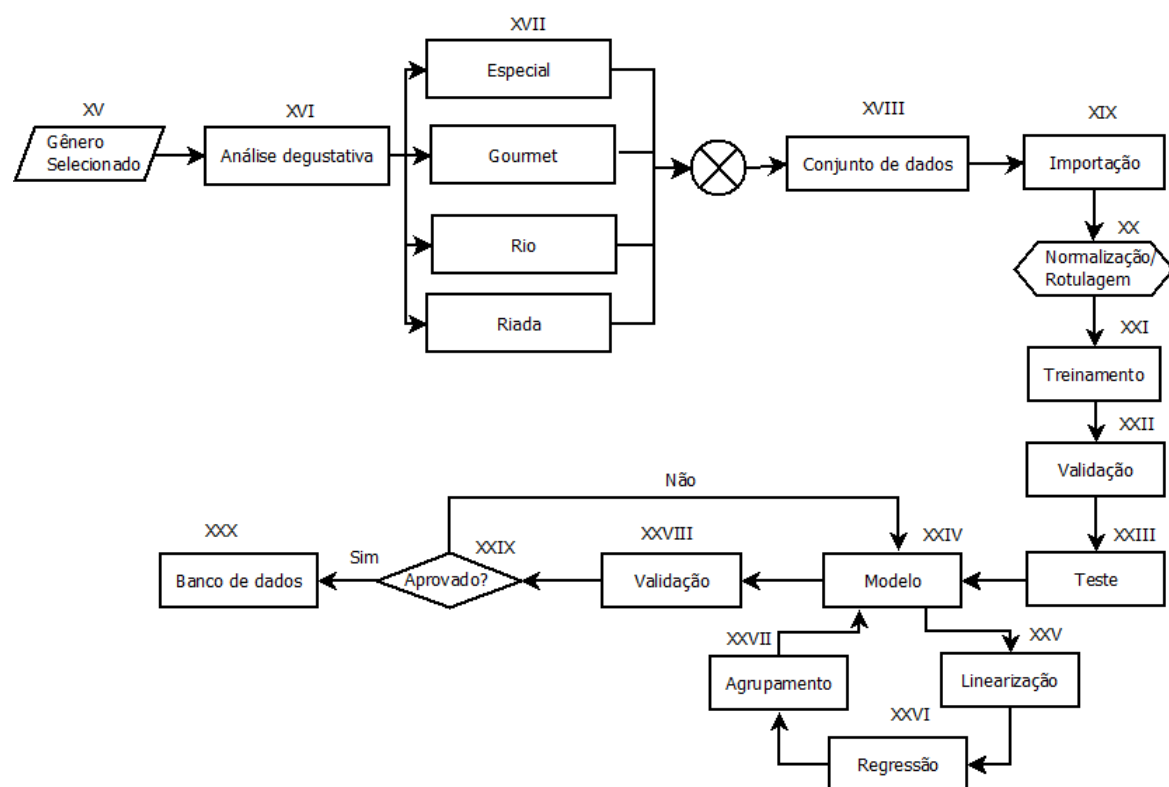
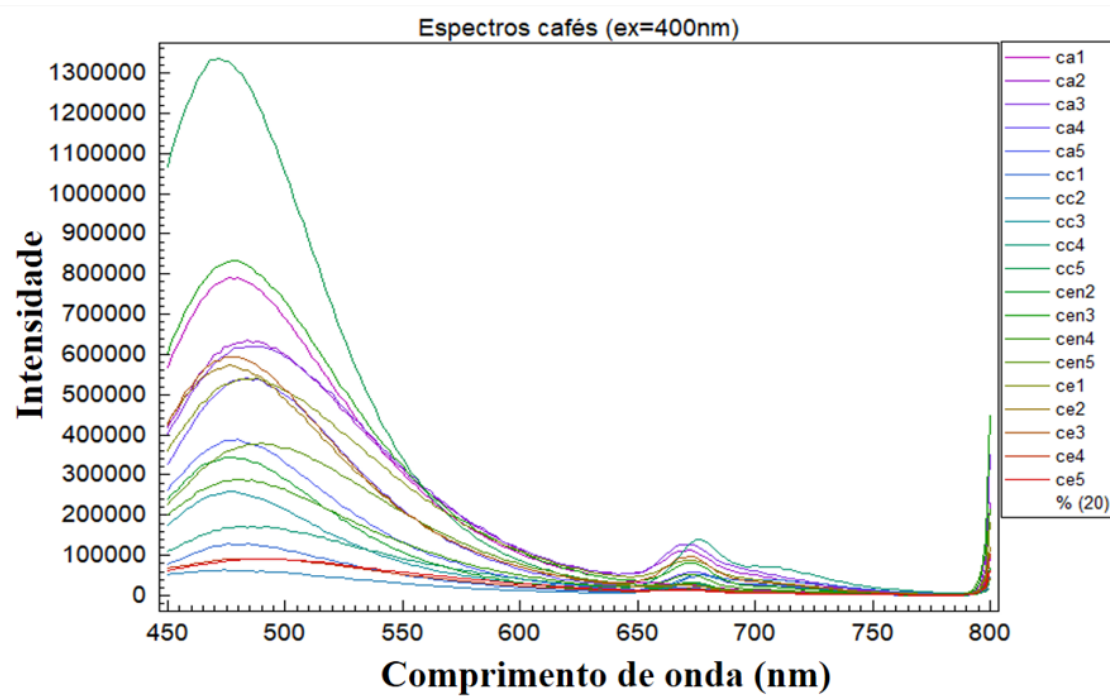
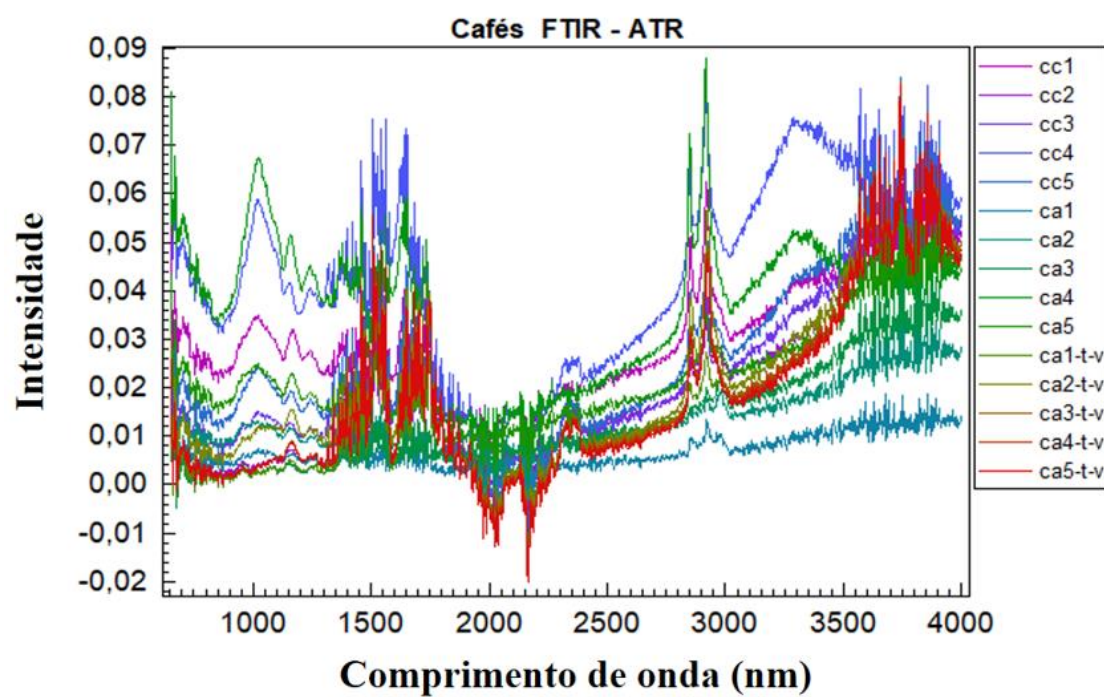


FIGURA 1B

**FIGURA 2**

**FIGURA 3**

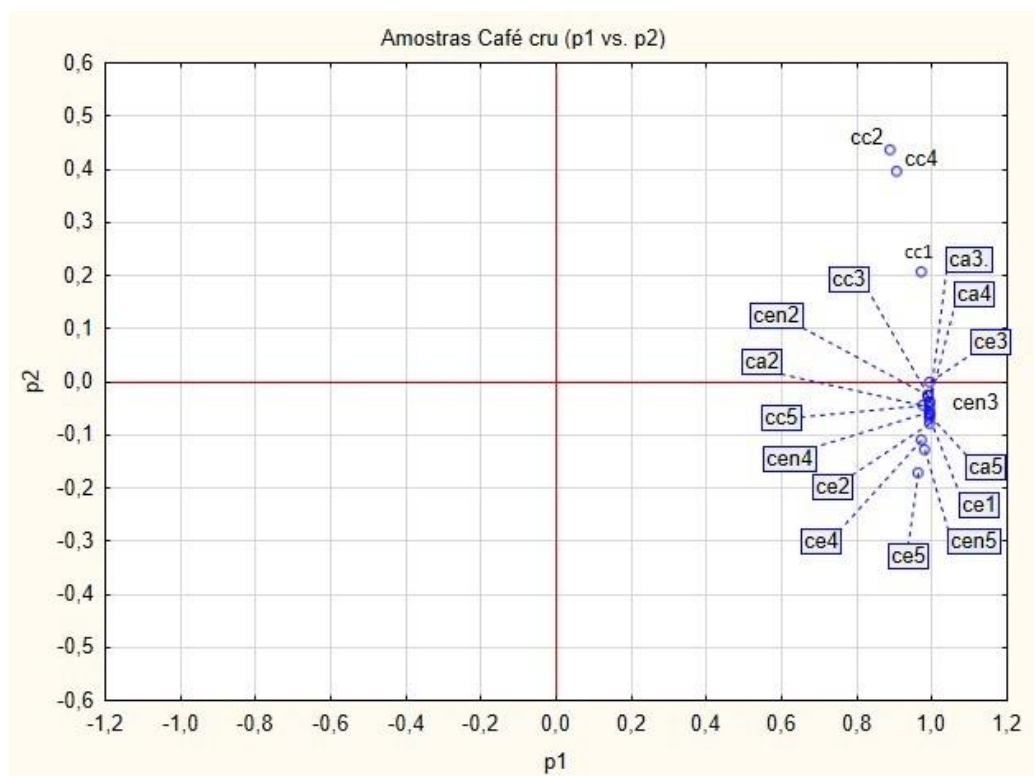


FIGURA 4A

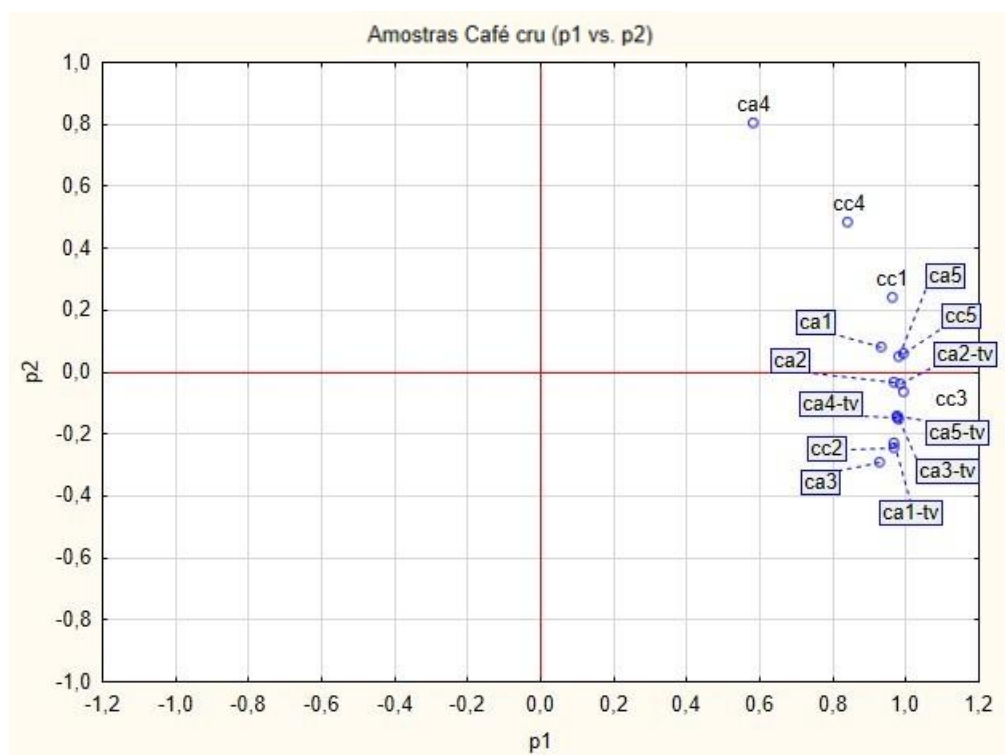


FIGURA 4B

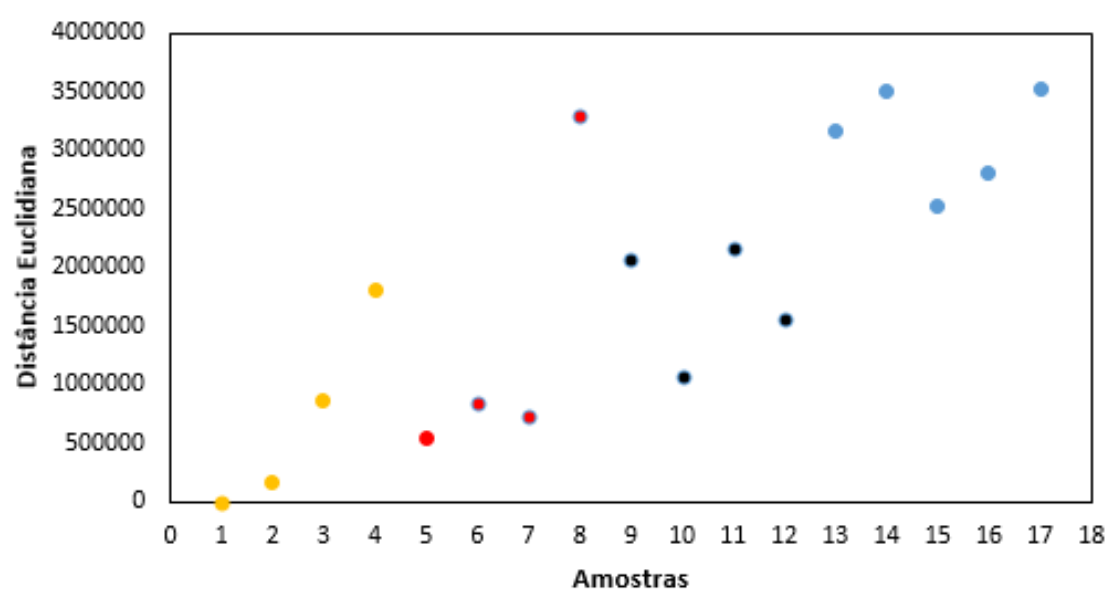


FIGURA 5



RESUMO**PROCESSO ÓPTICO PARA A ANÁLISE E SELEÇÃO DA QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ**

A presente invenção descreve um processo óptico com inteligência artificial para a seleção da qualidade de grãos, particularmente grãos de café verde ou torrados. Vantajosamente, o processo aqui descrito utiliza de forma *in natura* os grãos sem a necessidade de um pré-tratamento químico ou alteração física de qualquer tipo. O processo utiliza inicialmente a obtenção dos dados através da excitação dos grãos na faixa de UV-FTIR, no qual é gerado um range de dados espectrais que seguidamente são organizados em uma base de dados, normalizados e parametrizados; após isto são inseridos em uma análise matemático-estatística previamente treinada, na qual se aplicam métodos de linearização, regressão e a determinação da distância absoluta (distância euclidiana), em que há a capacidade de agregar os seus respectivos grupos, através de um processo de treinamento e testes previamente validados. Após esta determinação, o processo indicará o grupo pertencente da amostra, especificando qual a qualidade do grão analisado. Finalizando, o banco de informações é retroalimentado com esta nova informação processada; assim, após a realização desta etapa, é expresso o resultado do processo e mostrado ao usuário o grupo que a amostra pertence, finalizando o teste de correlação e linearidade.