

"SISTEMA DE SECAGEM COM AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA DE PESO, COM CONTROLE DE UMIDADE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR"

Refere-se o presente relatório descritivo a uma Patente de invenção que trata de um sistema de secagem com aquisição automatizada de peso, com controle de umidade, temperatura e velocidade do ar, sendo que mais especificamente, a presente invenção trata de um aparelho para a secagem de produtos com a aquisição de dados automatizada e para processos que exigem um ambiente controlado de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar.

Há vários processos que podem ser utilizados na conservação de produtos agrícolas. Dentre estes, a secagem é o processo comercial mais utilizado para a preservação da qualidade desses produtos.

Das contribuições que os avanços tecnológicos podem atender de imediato, está a utilização de um melhor processo e equipamento de secagem, pertinente a cada produto agrícola.

As razões para a secagem são tantas quantos são os materiais que podem ser secos. Um produto tem que estar capacitado para um processo subsequente ou para ser vendido. Assim, existem materiais que necessitam de uma determinada umidade para poderem ser prensados, moídos ou peletizados. Pós necessitam ser secos a baixos conteúdos de umidade, para permitir um armazenamento satisfatório. Custos de transportes também são redu-

zidos pela remoção de grande parte de água contida no produto. Vegetais desidratados são também utilizados na elaboração de refeições rápidas.

A secagem tem por objetivo principal a conservação das qualidades nutricionais e organolépticas dos produtos agrícolas. É um processo de eliminação do líquido de um produto por evaporação, com transferência de calor e massa. É necessário fornecimento de calor para evaporar a umidade do produto e um sorvedor para remover o vapor d'água formado na superfície do produto a ser seco.

A maioria dos produtos agrícolas (grãos, sementes, hortaliças, frutos) é colhida no ponto de maturação fisiológica quando apresentam grandes teores de amido, proteínas e óleo com teor de umidade elevada. Nessa condição, a atividade metabólica do produto tem prosseguimento, além de propiciar ao desenvolvimento de fungos e insetos, conduz a uma rápida deterioração. Através da remoção da umidade pela secagem, natural ou artificial, torna-se possível a conservação de produtos agrícolas durante o armazenamento.

Segundo um especialista da área, a secagem durante muitos séculos foi realizada com métodos totalmente sem técnica. Durante a Revolução Industrial na França foi descrita uma das primeiras técnicas de secagem de papel em folhas em uma sala com circulação de ar. Um século depois, outra técnica foi descrita em Londres na "Grande Exibição", também para a secagem de papel em ci-

lindros aquecidos. Leite em pó e vegetais também eram secos através de um pequeno aquecimento. Fornos simples eram usados para a secagem de amido e porções de sal.

A partir daí uma série de novos métodos de secagem foram surgindo, devido à crescente necessidade de métodos mais eficientes e rápidos. Apesar desta evolução na arte da secagem, métodos complexos de secagem começaram a ser propostos só no fim do século passado, como por exemplo patentes de secador a radiação térmica e secador a vácuo. Estas inovações foram gradualmente sendo proliferadas e incorporadas pela indústria.

Desde o começo deste século uma série de trabalhos foram sendo feitos até o entendimento recente dos processos de secagem como uma base racional para a operação e projeto de secadores.

A eficiência do processo de secagem está relacionada com a qualidade do produto final.

Existem várias formas de fornecimento de calor ao material, sendo assim, é bastante complicado classificar todos os métodos de secagem existentes. Entretanto, os mais comuns são:

1. *Secagem por Convecção*: neste método, o calor sensível do meio gasoso é fornecido à superfície do material por convecção que, ao passar pelo material ou através dele, remove a água evaporada e a retira do secador.

2. *Secagem por Contato ou por Condução*: o calor é fornecido ao material úmido por condução, através da superfície de placas, cilindros ou paredes do secador. A quantidade de

calor transferida para o material a ser seco não depende apenas da condutividade térmica do material de que é feita a superfície de aquecimento, mas também do coeficiente de transferência de calor do meio de aquecimento e do próprio material secante.

3. *Secagem por Radiação*: a energia térmica é fornecida ao material úmido por radiação eletromagnética na faixa de comprimento de onda de  $0,76 - 400\mu\text{m}$ . A radiação desta faixa, chamada região infravermelha, penetra através da área superficial do material causando a vibração das moléculas, criando assim o efeito térmico.

4. *Secagem Dielétrica*: a energia térmica é gerada no interior do material a ser seco (maus condutores ou isolantes), que é colocado num campo eletromagnético de alta frequência, na região de frequência de rádio ou de microondas. Devido às rápidas mudanças na direção do campo eletromagnético, os dipolos do dielétrico ou dos líquidos polares mudam sua orientação, provocando a geração de calor como resultado da fricção molecular.

5. *Secagem por Liofilização*: este método se baseia na sublimação da umidade do material, que foi previamente congelada, quando este é colocado numa câmara de secagem onde a pressão está abaixo do valor do ponto triplo. A quantidade de calor necessária, geralmente é fornecida por radiação ou condução através de placas aquecidas a uma certa taxa de aquecimento, de forma que a temperatura do produto não ultrapasse  $0^{\circ}\text{C}$ .

6. *Secagem por Solvente*: neste método, o material é seco pe

lo contato com vapores superaquecidos de solventes orgânicos. Este processo é chamado de secagem por solvente superaquecido e é interessante quando o material a ser seco é umidificado por um líquido inflamável.

5 7. *Secagem por Vapor Superaquecido:* neste processo, o secador é preenchido com ar quente e tem início a convecção. No decorrer do processo, a umidade evaporada começa a circular juntamente com o ar quente. Isto faz com que a pressão interna aumente e ative uma válvula de controle de pressão, a  
10 qual regula qualquer sobrepressão, retirando gradualmente o ar ainda presente no secador, fazendo com que a secagem ocorra no contato com o vapor superaquecido.

8. *Secagem de Leitos Fluidizados Ativos:* a secagem por este método consiste na imersão das partículas a serem secas em  
15 um leito de uma substância dissecante, fluidizada pelo ar.

A utilização de secadores em escala pequena ou laboratorial é sempre uma boa alternativa para a escolha final do secador industrial, pois esses possibilitam a determinação das características de secagem do  
20 material que são requeridas para predizer o modo como a matéria prima irá secar em escala industrial.

Na presente patente, será utilizado o sistema de secagem por convecção.

As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produ-  
25

to é fenômeno comum a qualquer condição de secagem. O processo de secagem submetido às condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar secante, baseado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos.

O primeiro período representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Essas elevações têm prosseguimento até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água).

O segundo período caracteriza-se pela taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante.

No terceiro período, a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado.

Portanto, para o estudo do processo de secagem os parâmetros básicos a serem considerados são:

- Temperatura

5 As temperaturas do ar de secagem têm efeito significativo sobre a qualidade do produto. Sob temperaturas elevadas do ar de secagem, pode-se provocar danos físicos (quebras e trincas), descoloração, redução na qualidade de amido, óleo e proteína do produto.

10 Para determinar-se a temperatura do ar de secagem devem ser considerados: o uso final do produto; o teor de umidade inicial do produto, e o tipo de produto.

- Umidade Relativa

Para efetuar a secagem é necessário que a pressão de vapor do ar de secagem seja inferior à pressão de vapor do produto, isto é, que a umidade relativa do ar de secagem seja inferior àquela em que o material está em equilíbrio. O conhecimento das curvas de umidade de equilíbrio dos produtos fornece parâmetros para definição e controle do processo de secagem. A redução da umidade relativa é feita pelo aquecimento do ar ou submetendo o fluxo de ar a uma passagem por produto dessecante promovendo sua desumidificação ou por processos físicos psicrométricos.

25 Para produtos agropecuários a umidade relativa influi também nas qualidades físicas (exemplo: endurecimento superficial) além da alteração na velocidade de secagem

- Fluxo de ar de secagem

A transferência de calor e massa durante a secagem é deter-

minada pelo fluxo e da direção do escoamento do ar (coeficientes convectivos de transferência de calor e massa).

A direção do fluxo de ar dependerá das características do material a ser seco, ou seja, da perda de carga que este material remete ao fluxo de ar, do risco de fluidização do produto e da taxa de secagem que este suporta ou necessita no processo.

-Umidade final e inicial

O teor de umidade do produto é um fator importante para a seleção da temperatura conjugado ao tempo de secagem. As altas temperaturas podem causar danos à matéria prima, assim como causar secagem excessiva na superfície dificultando a migração da umidade interna à superfície.

-Umidade de equilíbrio

Os produtos biológicos têm a propriedade de ceder ou absorver umidade do ar circundante. Para uma mesma temperatura, a umidade contida nos produtos tende a entrar em equilíbrio com a umidade relativa do ar. Tal fenômeno ocorre devido à relação entre a pressão de vapor d'água do produto e a pressão de vapor d'água do ar ambiente. Se a pressão de vapor do produto for menor que aquela presente no ar, o produto tende a absorver umidade (adsorção); em situação inversa, o produto cederá umidade para o ar (dessorção).

Quando a pressão de vapor d'água da superfície do produto se iguala à pressão de vapor do ar ambiente, é estabelecido um equilíbrio.

Conforme descrito na PI 8905036-3, equipamentos destinados ao controle de processos

para secagem são ainda pouco desenvolvidos, quando muito, pode-se utilizar de estufas com e sem circulação de ar e secadores de bandejas que não permitem investigar a variação do teor de umidade em função do tempo, pois no momento em que se necessita pesar determinado material que está em seu interior com condições pré-estabelecidas, sofre, durante a pesagem, interrupção em seu processamento, causando uma variação da condição de secagem, o que compromete o estudo. Assim a PI 8905036-3 apresenta controle de temperatura e velocidade do ar com a pesagem sem retirada do material, mas as pesagens não são automatizadas e a obtenção e controle da umidade relativa do ar (mais difícil e importante) não foram efetuadas.

A presente invenção trata de um aparelho em escala laboratorial, munido de dispositivos com ajuste de temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do fluxo de ar, que permite a aquisição de dados da variação do peso de determinado produto em função do tempo. A presente invenção consiste de um aparelho capaz de determinar através das condições controladas de secagem (temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do ar) a taxa de umidade extraída de determinado produto, com pesagem automatizada com registro contínuo de dados, em função do tempo, sem que este produto tenha que ser retirado do ambiente controlado. O ar de secagem terá as condições específicas de temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do ar determinados e controlados.

O ar com condições determina-



dente.

Para se obter um sistema de condicionamento de ar que forneça condições específicas de temperatura, umidade relativa, velocidade e direção de ar, e que cada uma dessas variáveis possa ser controlada independentemente, é necessário que se adapte um sistema de refrigeração, tal como proposto na figura 1 a um sistema de aquecimento, um sistema de umidificação (via pulverização de água a uma determinada temperatura no ar), um sistema de ventilação do ar, tal como o demonstrado na figura 2 e um sistema de pesagem, tal como o tratado na figura 3.

A figura 3 que ilustra o sistema de pesagem, apresenta esquematicamente indicados tanto o retorno do ar (seta A), como também a entrada do ar (seta B), além do posicionamento da amostra M, dita figura 3 conta ainda com indicações da balança 3 e válvulas V3, V4 e V5.

O sistema de refrigeração apresentado na figura 1 é composto por evaporadores EV1 e EV2, cada um dos quais associados a válvulas de expansão e controle, respectivamente indicadas como V1 e V2, dito sistema de refrigeração conta ainda com condensadores CD1 e CD2. O diagrama da figura 1 inclui ainda um compressor que é genericamente indicado pela referência numérica 1.

Por outro lado, o sistema de ventilação demonstrado na figura 2 é composto por estágios de resfriamento, aquecimento, umidificação e novamente aquecimento.

Para se obter um ar com condições específicas e constantes de temperatura e umidade relativa, o ar ambiente deve ser condicionado da seguinte maneira, conforme mostrado na Figura 2 (onde a legenda é a mesma da Figura 1 pois foram utilizados os equipamentos descritos no sistema de refrigeração):

1. Para obter um ar seco e frio, faz-se escoar o ar ambiente através do evaporador 1 (EV1) do sistema de refrigeração, que está a uma temperatura próxima de  $0^{\circ}\text{C}$ , resfriando-o e desumidificando-o;

2. Para obter um ar seco e com temperaturas amenas (até ao redor de  $40^{\circ}\text{C}$ ) faz-se o ar seco e frio do item anterior escoar pelo condensador CD1 do sistema de refrigeração onde será aquecido;

3. Para se obter um ar com uma umidade relativa desejada faz-se uma incorporação da quantidade necessária de vapor d'água no ar através da pulverização de água na corrente do ar - UM (umidificador);

4. Dependendo da temperatura final desejada do ar, pulveriza-se a água descrita no item anterior utilizando-se água numa temperatura próxima da temperatura final desejada do ar. A temperatura desejada dessa água será obtida através do uso do evaporador 2 - EV2 do sistema de refrigeração ou utilizando o sistema de aquecimento AQ1;

5. Para se obter um ar seco e com temperaturas maiores que  $40^{\circ}\text{C}$ , faz-se um aquecimento do ar do item 1 ou 2 através de um sistema de aquecimento - AQ 2 (resistências elétricas e/ou trocadores de calor de variadas fontes de energia: va-

por, gás, solar, etc.);

6. O sistema de aquecimento (AQ 2) do ar do item anterior terá também a função de ajuste fino da temperatura do ar. Para se obter uma determinada velocidade do escoamento do ar utilizar-se-á de um ventilador centrífugo com controle de vazão.

O sistema aqui descrito apresenta parâmetros de operação que contemplam os dados abaixo relacionados:

- 10 - Temperatura de 0 a 150 °C;
- Umidade relativa de 0 a 100 %;
- Velocidade do ar de 0 a 5 m/s.
- Direção do fluxo de ar paralela ou perpendicular ao produto.

15 O controle da temperatura do aquecedor do fluxo de ar AQ2 e do reservatório de água AQ1 é efetuado através de um sistema de controle em malha fechada, com realimentação de saída. A temperatura é medida através de um sensor resistivo do tipo PT-100. O aquecimen-

20 to é realizado através de resistências elétricas acionadas por um controlador eletrônico de potência. Um controlador do tipo PID (proporcional - integral - derivativo), com saída analógica, controla a potência entregue às resistências, mantendo a temperatura no valor desejado.

25 O controle da temperatura do evaporador do fluxo de ar EV1 e do evaporador do reservatório de água EV2 é efetuado através de um sistema de controle em malha fechada, com realimentação de saída. A tempera-

tura é medida através de um sensor resistivo do tipo PT-100. A temperatura será controlada através das válvulas reguladoras de vazão de gás V1 e V2. Um controlador do tipo PID (proporcional - integral - derivativo), com saída analógica, controla a abertura das válvulas, mantendo a temperatura no valor desejado. O controle do aquecimento através do condensador do sistema de refrigeração será efetuada através das válvulas distribuidoras dos refrigerantes nos condensadores 1 CD1 e 2 CD2.

10 O controle da umidade do fluxo de ar também é efetuado por um sistema em malha fechada, com realimentação de saída. A medição do grau de umidade do fluxo de ar é realizada por um sensor eletrônico. A umidade do fluxo será alterada através de um umidificador controlado por uma válvula eletromagnética. Um controlador PID com saída digital atua sobre o umidificador, mantendo a umidade do fluxo no valor desejado.

O controle da velocidade do fluxo de ar, a exemplo dos anteriores, é efetuado por um sistema em malha fechada, com realimentação de saída. A velocidade do fluxo de ar é medida por um anemômetro eletrônico. Um inversor de frequência alimenta o motor do ventilador centrífugo e permite variar a velocidade de fluxo de ar. Um controlador PID com saída analógica atua sobre o ventilador, indicado pela referência numérica 2, e consequentemente sobre a velocidade do fluxo de ar, mantendo-a constante no valor desejado.

Uma balança digital e micro-

processada 3 monitora o peso da amostra durante a operação de secagem. Um microcomputador (não ilustrado) acoplado à balança permite o registro dos valores de peso ao longo do tempo. Durante a operação de pesagem, realizada periodicamente, um defletor V3 é automaticamente acionado, desviando o fluxo de ar para que este não influencie na medição.

O sistema de secagem também possibilita a mudança na direção do fluxo de ar, acionando as válvulas V4 e V5, sendo o fluxo direcionado paralelamente ou perpendicularmente à amostra.

O ar de secagem pode ainda ser reutilizado através do uso desse ar na entrada do ventilador.

## REIVINDICAÇÕES

1. "SISTEMA DE SECAGEM COM AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA DE PESO, COM CONTROLE DE UMIDADE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR", caracterizado pelo fato de ser composto de um sistema de refrigeração, um sistema de aquecimento, um sistema de umidificação, um sistema de ventilação do ar e um sistema de pesagem.

2. "SISTEMA DE SECAGEM COM AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA DE PESO, COM CONTROLE DE UMIDADE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR", segundo o reivindicado em 1, caracterizado pelo fato de que o sistema de refrigeração compreende sistemas interdependentes de evaporadores e de condensadores munido de controladores; o sistema de umidificação compreende pulverização da água a temperatura controlada com automação e controle; o sistema de aquecimento compreende aquecedores com controle e automação; o sistema de ventilação do ar conta com controle de velocidade e direção do ar; e o sistema de pesagem atua por aquisição automatizada de dados com acionamento automático de defletor do ar.

3. "SISTEMA DE SECAGEM COM AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA DE PESO, COM CONTROLE DE UMIDADE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR", segundo o reivindicado em 1 e 2, caracterizado pelo fato de que o sistema de refrigeração compreende evaporadores (EV1) e (EV2), com suas respectivas válvulas de expansão e controle (V1) e (V2), além de condensadores (CD1) e (CD2).

4. "SISTEMA DE SECAGEM COM

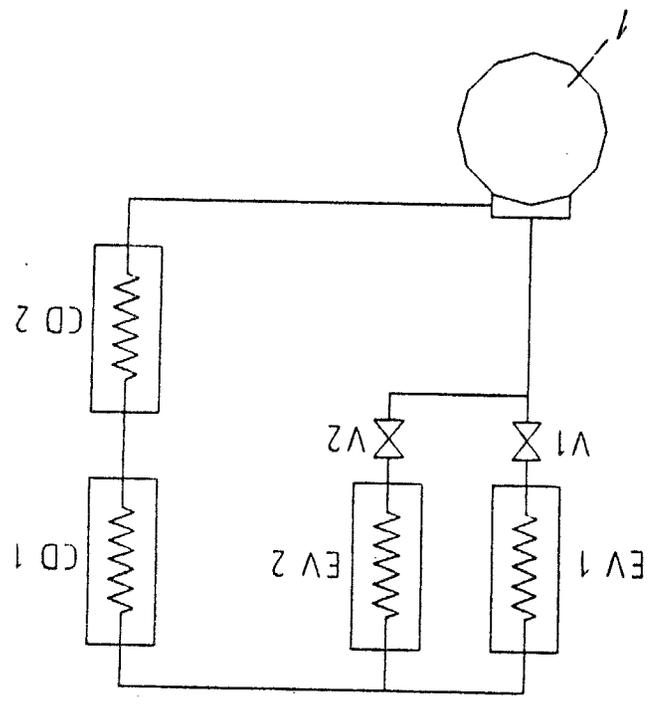
AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA DE PESO, COM CONTROLE DE UMIDADE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR", segundo o reivindicado em 1 e 2, caracterizado pelo fato de que o sistema de ventilação do ar compreende um ventilador (2), dito sistema compreende também o controle da velocidade do fluxo de ar, que é efetuado por um sistema em malha fechada, com realimentação de saída, sendo a velocidade do fluxo de ar medida por um anemômetro eletrônico; um inversor de frequência alimenta o motor do ventilador centrífugo e permite variar a velocidade de fluxo de ar; um controlador PID com saída analógica atua sobre o ventilador, indicado pela referência numérica (2), e conseqüentemente sobre a velocidade do fluxo de ar, mantendo-a constante no valor desejado.

5. "SISTEMA DE SECAGEM COM AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA DE PESO, COM CONTROLE DE UMIDADE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR", segundo o reivindicado em 1, caracterizado pelo fato de que o sistema em questão apresenta faixas de operação de temperatura de 0 a 150°C; de umidade relativa de 0 a 100%; de velocidade do ar de 0 a 5m/s; e de direção de fluxo de ar que pode ser paralela ou perpendicular ao produto.

6. "SISTEMA DE SECAGEM COM AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA DE PESO, COM CONTROLE DE UMIDADE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR", segundo o reivindicado em 1, caracterizado pelo fato de que o sistema de pesagem compreende uma balança digital e microprocessada (3), que monitora o peso da amostra durante a operação de secagem; um microcomputador acoplado à balança permite o registro dos



FIG. - 1



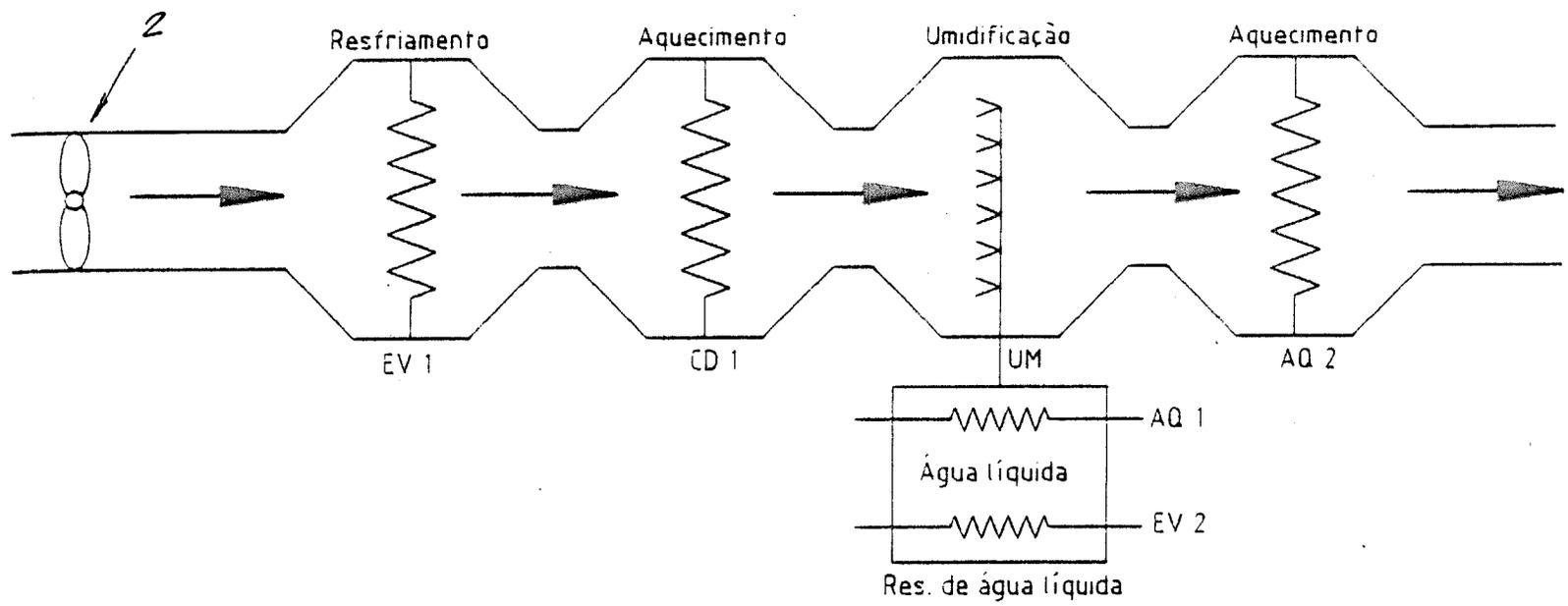


FIG.-2

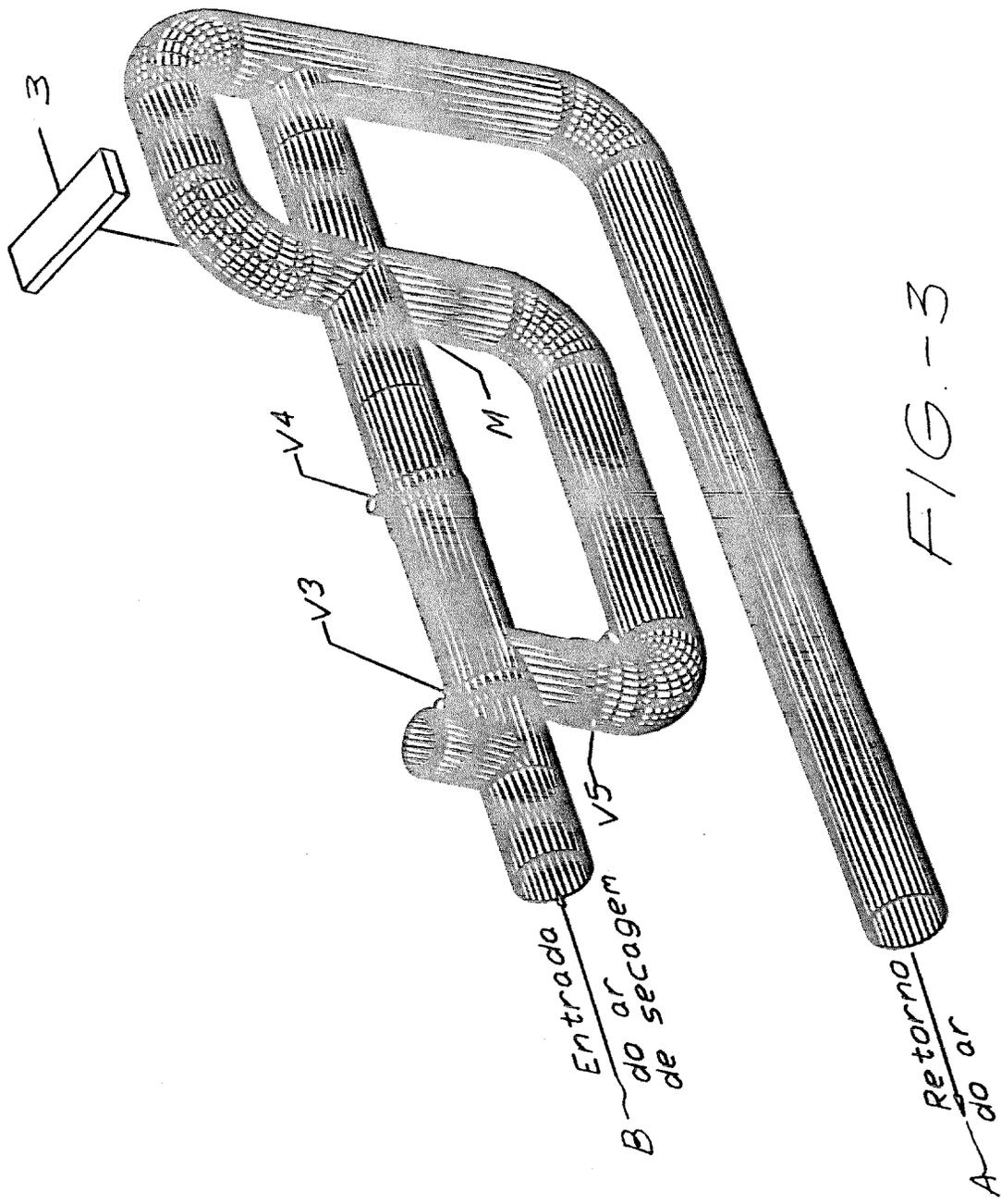


FIG.-3

## RESUMO

"SISTEMA DE SECAGEM COM AQUISIÇÃO AUTOMATIZADA DE PESO, COM CONTROLE DE UMIDADE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR", que é composto de um sistema de refrigeração, um sistema de aquecimento, um sistema de umidificação, um sistema de ventilação do ar e um sistema de pesagem.