



**República Federativa do Brasil**

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,  
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



**(11) BR 112020020413-7 B1**

**(22) Data do Depósito:** 04/04/2019

**(45) Data de Concessão:** 05/09/2023

---

**(54) Título:** SISTEMA E MÉTODO PARA MANUFATURA DE PÓ

**(51) Int.Cl.:** B22F 9/04; B22F 1/00; B29B 9/02; B33Y 70/00.

**(30) Prioridade Unionista:** 04/04/2018 US 62/652,473; 04/04/2018 US 62/652,483.

**(73) Titular(es):** METAL POWDER WORKS, LLC.

**(72) Inventor(es):** JOHN, E. BARNES; CHRISTOPHER B. ALDRIDGE.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2019025805 de 04/04/2019

**(87) Publicação PCT:** WO 2019/195559 de 10/10/2019

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 05/10/2020

**(57) Resumo:** SISTEMA E MÉTODO PARA MANUFATURA DE PÓ. Um método de produção de pó inclui fornecer uma peça obra alongada (12) e contatar repetidamente uma superfície externa da peça obra alongada (12) com um cortador (38) alternante de acordo com uma determinada ao menos uma frequência para produzir um pó. O pó inclui uma pluralidade de partículas, sendo que ao menos 95% das partículas produzidas apresentam um diâmetro ou dimensão máxima que varia de cerca de 10 um a cerca de 200 um. Também é fornecido aqui um sistema (100) para produzir pós apresentando uma pluralidade de partículas incluindo um cortador (38) e ao menos um controlador (110).

## **SISTEMA E MÉTODO PARA MANUFATURA DE PÓ**

### Referência cruzada a pedidos relacionados

[001] O presente pedido reivindica prioridade ao pedido de patente provisório dos Estados Unidos Nº 62/652.473, depositado em 4 de abril de 2018, e ao pedido de patente provisório dos Estados Unidos Nº 62/652.483, depositado em 4 de abril de 2018, cada um dos quais é aqui incorporado por referência em sua totalidade.

### Antecedentes da invenção

#### Campo de invenção

[002] Esta descrição é direcionada a sistemas e métodos para a manufatura de pó e, em particular, para sistemas e métodos para a manufatura de um pó que inclui partículas com uma distribuição de tamanho estreita por meio do atrito mecânico de uma fonte ou matéria-prima com um cortador alternante.

#### Descrição da arte relacionada

[003] Processos de manufatura aditivos, tais como impressão 3D ou prototipagem rápida, estão ganhando ampla aceitação como a forma preferida para produzir peças projetadas com rapidez e alto grau de precisão. As máquinas de impressão 3D de vários fabricantes estão disponíveis comercialmente, incluindo EOS Electro Optical Systems Group, SLM Solutions Group AG, Concept Laser GmbH, Arcam AB, Renishaw Plc, 3D Systems, Inc., ExOne Company LLP, Hewlett-Packard Co., e General Electric (aditivo GE). Tais máquinas de manufatura aditiva e de impressão 3D transformam pós, geralmente pós de metal, em peças manufaturadas, tais como ferramentas, moldes, máquinas, peças automotivas, artigos decorativos e objetos semelhantes. Os pós de metal podem compreender, por exemplo, aço inoxidável, aços de baixa liga, ligas de níquel, titânio e materiais semelhantes. Em vista do uso generalizado de processos de manufatura de aditivos, é esperado que a necessidade de material de origem, tal como pós de metal, continue a aumentar.

[004] Os pós para manufatura de aditivos são convencionalmente feitos por técnicas de atomização, tal como por atomização de plasma ou atomização de gás. A atomização geralmente produz um pó que compreende partículas com uma ampla variedade de tamanhos. Em alguns casos, apenas cerca de 20% a 40% do pó produzido por tais

processos de atomização são utilizáveis (por exemplo, um tamanho e formato adequados) para a manufatura de aditivos. Os 60% a 80% restantes do pó são usados para outras aplicações, reciclados ou descartados.

[005] Um exemplo de dispositivo de atomização para a produção de pó metálico é descrito na patente dos Estados Unidos No. 6.632.394, que é aqui incorporada por referência em sua totalidade. O dispositivo de atomização inclui um vaso metalúrgico para conter uma quantidade de metal fundido. O metal fundido é introduzido em uma câmara de atomização na forma de uma corrente de metal, que passa para a câmara de atomização através de um elemento de bocal. Na câmara de atomização, jatos de gás de diferentes orientações entram em contato com a corrente de metal fundido, que quebra a corrente de metal fundido para formar gotículas que congelam em grãos, produzindo assim partículas de metal.

[006] A citada patente US 6.632.394 descreve que o método de atomização produz um pó que inclui partículas que variam em tamanho de 0  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$ . Cerca de 75% das partículas formadas tinham menos de 100  $\mu\text{m}$  de tamanho. 34,9% do pó produzido tinha entre 0 e 45  $\mu\text{m}$  de tamanho. Outros exemplos de métodos de atomização para formar pós com rendimentos semelhantes ou distribuições de tamanho de partícula são descritos na patente dos Estados Unidos No. 4.382.903 e no pedido de patente internacional publicação Nº 89/05197.

[007] Embora partículas tão grandes quanto 150  $\mu\text{m}$  possam ser usadas com algumas máquinas de manufatura de aditivos, geralmente, os processos de manufatura de aditivos são realizados usando partículas que variam em tamanho de cerca de 15  $\mu\text{m}$  a cerca de 100  $\mu\text{m}$ . Muitas vezes, grandes porções de pó produzidas por métodos de atomização devem ser usadas para outras aplicações, uma vez que as partículas são muito grandes ou não uniformes e não adequadas para a manufatura de aditivos. Em adição, a eficiência e a velocidade das máquinas de impressão 3D podem ser afetadas por um fluxo das partículas de pó para dentro e através da máquina. Pós incluindo partículas de tamanho e forma substancialmente uniformes geralmente apresentam melhores características de fluxo e fluem mais facilmente através das máquinas. Conseqüentemente, os processos de manufatura de pó para a produção eficiente de pós de tamanho e forma uniformes irão

melhorar a eficiência operacional das máquinas de impressão 3D.

#### Síntese da invenção

[008] Em vista das distribuições de tamanho de partícula inconsistentes e falta de uniformidade de partícula fornecida pelos métodos atuais de produção de pó, há uma necessidade de dispositivos e métodos para a produção de pós com uma distribuição estreita de tamanho de pó (PSD) e uniformidade de partícula. Desejavelmente, uma grande maioria das partículas produzidas deve ser adequada para uso em processos de manufatura de aditivos. Há também a necessidade de métodos para a produção de partículas densas com baixa porosidade e formatos uniformes para melhorar a eficiência operacional das máquinas de impressão 3D. Os dispositivos e métodos descritos nesta descrição são projetados para atender a tais necessidades.

[009] De acordo com um aspecto da descrição, um método de produção de pó inclui o fornecimento de uma peça obra alongada; e contatar repetidamente uma superfície externa da peça obra alongada com um cortador alternante de acordo com uma predeterminada ao menos uma frequência para produzir um pó. O pó inclui uma pluralidade de partículas, sendo que ao menos 95% das partículas produzidas apresentam um diâmetro ou dimensão máxima variando de cerca de 10  $\mu\text{m}$  a cerca de 200  $\mu\text{m}$ .

[0010] De acordo com outro aspecto da descrição, um sistema para a produção de pós apresentando uma pluralidade de partículas inclui ao menos um cortador configurado para contatar uma superfície externa de uma peça obra alongada para remover partículas da peça; ao menos um acionador mecanicamente acoplado a ao menos um cortador configurado para mover alternantemente o cortador em contato com, e afastar-se, da peça obra; e ao menos um controlador. O ao menos um controlador é eletricamente conectado a ao menos um acionador e inclui um componente de entrada. O controlador é configurado para fazer com que o acionador mova o cortador alternantemente em contato com, e afastar-se, da peça obra de acordo com um ou mais parâmetros operacionais recebidos do componente de entrada. O contato repetido entre a peça obra e o cortador produz um pó que apresenta uma pluralidade de partículas. Ao menos 95% da pluralidade de partículas apresenta um diâmetro que varia de cerca de 10  $\mu\text{m}$  a cerca de 200  $\mu\text{m}$ .

[0011] De acordo com outro aspecto da descrição, um método de produção de pó de

metal inclui rotacionar uma peça obra de metal forjado a uma taxa de rotação predeterminada; contatar repetidamente uma superfície externa da peça obra de metal forjado em uma frequência predeterminada com um cortador apresentando uma ferramenta [insert] de corte; e a coleta de partículas produzidas pelo contato entre a ferramenta de corte e a superfície externa da peça obra de metal forjado. A taxa de rotação predeterminada e a frequência predeterminada são selecionadas para obter partículas com um tamanho alvo de partícula. Ao menos 95% das partículas coletadas apresentam um diâmetro ou dimensão principal dentro de 10% do tamanho alvo de partícula.

[0012] Exemplos da presente invenção serão descritos agora nas cláusulas numeradas a seguir:

[0013] Cláusula 1: Um método de produção de pó que compreende: fornecer uma peça obra alongada; e contatar repetidamente uma superfície externa da peça obra alongada com um cortador alternante de acordo com a ao menos uma frequência predeterminada para produzir um pó compreendendo uma pluralidade de partículas, sendo que ao menos 95% das partículas produzidas apresentam um diâmetro ou dimensão máxima variando de cerca de 10  $\mu\text{m}$  a cerca de 200  $\mu\text{m}$ .

[0014] Cláusula 2: O método de acordo com a cláusula 1, caracterizado por a peça obra alongada compreender um material fundido, forjado ou extrudável.

[0015] Cláusula 3: O método de acordo com a cláusula 1 ou cláusula 2, caracterizado por a peça obra alongada compreender uma haste de metal forjado.

[0016] Cláusula 4: O método de acordo com a cláusula 3, caracterizado por a haste de metal forjado compreender um ou mais dentre aço, níquel, alumínio, titânio, platina, rênio, nióbio e ligas dos mesmos.

[0017] Cláusula 5: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 4, caracterizado por a peça obra compreender ao menos um dentre urânio, elementos de terras raras, polímeros e cerâmica.

[0018] Cláusula 6: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 5, caracterizado por ao menos 95% das partículas da pluralidade de partículas apresentam um diâmetro dentro de 10% de um tamanho alvo.

[0019] Cláusula 7: O método de acordo com a cláusula 6, caracterizado por o tamanho alvo compreender um diâmetro ou dimensão máxima que varia de cerca de 15 µm a cerca de 100 µm.

[0020] Cláusula 8: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 7, caracterizado por ao menos 95% das partículas da pluralidade de partículas apresentar um diâmetro que varia de cerca de 15 µm a cerca de 100 µm.

[0021] Cláusula 9: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 8, caracterizado por ao menos 99% das partículas da pluralidade de partículas apresentar um diâmetro que varia de cerca de 15 µm a cerca de 100 µm

[0022] Cláusula 10: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 9, caracterizado por contatar repetidamente a peça obra com o cortador de acordo com a ao menos uma frequência predeterminada compreender o contato da peça obra de acordo com uma primeira frequência por um primeiro período de tempo predeterminado seguido pelo contato da peça obra de acordo a uma segunda frequência diferente da primeira frequência por um segundo período de tempo predeterminado.

[0023] Cláusula 11: O método de acordo com a cláusula 10, caracterizado por contatar repetidamente a peça obra de acordo com a primeira frequência produz uma primeira pluralidade de partículas, sendo que ao menos 95% das partículas da primeira pluralidade de partículas apresenta um diâmetro ou dimensão principal dentro de 10% de um primeiro tamanho alvo.

[0024] Cláusula 12: O método de acordo com a cláusula 11, caracterizado por contatar repetidamente a peça obra de acordo com a segunda frequência produz uma segunda pluralidade de partículas, sendo que ao menos 95% das partículas da segunda pluralidade de partículas apresenta um diâmetro ou dimensão principal dentro de 10% de um segundo tamanho alvo, que é diferente do primeiro tamanho alvo.

[0025] Cláusula 13: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 10 a 12, caracterizado por compreender ainda selecionar uma distribuição de tamanho alvo de partícula compreendendo partículas do primeiro tamanho alvo e partículas do segundo tamanho alvo e, antes de entrar em contato com a peça obra por ao menos um cortador, determinar o primeiro período de tempo e o segundo período de tempo com base na

distribuição de tamanho de partícula selecionada.

[0026] Cláusula 14: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 13, caracterizado por a produção do pó não introduzir porosidade nas partículas, de modo que a pluralidade de partículas apresenta uma porosidade substancialmente igual a uma porosidade da peça obra alongada.

[0027] Cláusula 15: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 14, caracterizado por compreender ainda rotacionar a peça obra a uma taxa de rotação selecionada quando a peça obra for contactada pelo cortador, sendo que a taxa de rotação é determinada com base em um tamanho alvo de partícula a ser produzida.

[0028] Cláusula 16: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 15, caracterizado por o contato repetido da peça obra com o ao menos um cortador compreende o contato de uma primeira porção da peça obra com um primeiro cortador e o contato de uma segunda porção da peça obra com um segundo cortador.

[0029] Cláusula 17: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 16, caracterizado por compreender ainda, após o pó ser produzido, esferoidização da pluralidade de partículas pela aplicação de ao menos um dentre calor, forças abrasivas e agentes químicos às partículas.

[0030] Cláusula 18: O método de acordo com qualquer uma das cláusulas de 1 a 17, caracterizado por compreender ainda expor a peça obra a um laser enquanto a peça obra entra em contato com o cortador para auxiliar na remoção da pluralidade de partículas da peça obra.

[0031] Cláusula 19: Um sistema para a produção de pós compreendendo uma pluralidade de partículas, o sistema sendo caracterizado por compreender: ao menos um cortador configurado para contatar uma superfície externa de uma peça obra alongada para remover partículas da peça; ao menos um acionador mecanicamente acoplado a ao menos um cortador configurado para mover alternadamente o cortador em contato com a, e afastar-se da, peça obra; e ao menos um controlador eletricamente conectado a ao menos um acionador que compreende um componente de entrada, o controlador sendo configurado para fazer com que o acionador mova o cortador alternadamente em contato com a, e afastar-se da, peça obra de acordo com um ou mais parâmetros operacionais

recebidos do componente de entrada, sendo que o contato repetido entre a peça obra e o cortador produz um pó compreendendo uma pluralidade de partículas e sendo que ao menos 95% da pluralidade de partículas apresenta um diâmetro que varia de cerca de 10 µm a cerca de 200 µm.

[0032] Cláusula 20: O sistema de acordo com a cláusula 19, caracterizado por os parâmetros operacionais compreenderem um ou mais dentre uma taxa de rotação da peça obra, uma frequência alternante do cortador ou uma amplitude do cortador em relação à peça obra.

[0033] Cláusula 21: O sistema de acordo com a cláusula 19 ou a cláusula 20, caracterizado por compreender ainda um recipiente de coleta configurado para receber a pluralidade de partículas formadas pelo contato repetido entre o cortador e a peça obra.

[0034] Cláusula 22: O sistema de acordo com a cláusula 21, caracterizado por o recipiente de coleta compreender um vácuo configurado para aspirar o pó para o recipiente de coleta.

[0035] Cláusula 23: O sistema de acordo com a cláusula 22, caracterizado por o recipiente de coleta compreender um ou mais sensores eletricamente conectados a ao menos um controlador, o um ou mais sensores sendo configurados para medir as características do pó produzido, e sendo que o ao menos um controlador é configurado para modificar um ou mais parâmetros operacionais de ao menos um acionador com base nas informações detectadas por um ou mais sensores.

[0036] Cláusula 24: O sistema de acordo com a cláusula 23, caracterizado por um ou mais sensores ser configurado para detectar ao menos um dentre: média do volume de partícula, volume médio de partícula, distribuição de volume de partícula, peso total do pó, volume total de pó ou esfericidade média das partículas.

[0037] Cláusula 25: O sistema de acordo com qualquer uma das cláusulas de 19 a 24, caracterizado por o ao menos um controlador ser configurado para receber através do componente de entrada um tamanho alvo de partícula e para ajustar automaticamente um ou mais parâmetros operacionais do acionador para produzir partículas do tamanho selecionado.

[0038] Cláusula 26: O sistema de acordo com a cláusula 25, caracterizado por o

tamanho alvo de partícula selecionado pode ser ajustado dinamicamente por um usuário enquanto o acionador estiver em operação.

[0039] Cláusula 27: Método de produção de pó de metal, caracterizado por compreender: rotacionar uma peça obra de metal forjada a uma taxa de rotação predeterminada; contatar repetidamente uma superfície externa da peça obra de metal forjado em uma frequência predeterminada com um cortador que compreende uma ferramenta de corte; e coletar as partículas produzidas pelo contato entre a ferramenta de corte e a superfície externa da peça obra de metal, sendo que a taxa predeterminada de rotação e a frequência predeterminada são selecionadas para obter partículas com um tamanho alvo de partícula, e sendo que ao menos 95% das partículas apresentam um diâmetro ou dimensão maior dentro de 10% do tamanho alvo da partícula.

[0040] Estas e outras características e recursos da presente invenção, bem como os métodos de operação e funções dos elementos de estruturas relacionados e a combinação das peças e economias de manufatura, se tornarão mais evidentes após a consideração da descrição a seguir e das reivindicações anexas com referência aos desenhos acompanhantes, todos dos quais fazem parte desta descrição, sendo que números de referência semelhantes designam partes correspondentes nas diversas figuras. Conforme usado no relatório descritivo e nas reivindicações, a forma singular de "um", "uma" e "o" inclui referentes plurais, a menos que o contexto cite claramente o contrário.

#### Breve descrição dos desenhos

[0041] A figura 1A é uma vista em perspectiva de um dispositivo de torno para produzir partículas de uma peça obra ou membro alongado de acordo com um aspecto da descrição;

[0042] A figura 1B é uma vista superior de uma porção do dispositivo de torno da figura 1A;

[0043] A figura 2A é um desenho esquemático de uma vista lateral do dispositivo de torno da figura 1A realizando um processo para gerar as partículas, de acordo com um aspecto da descrição;

[0044] A figura 2B é um desenho esquemático de uma vista frontal do dispositivo de torno da figura 1A;

[0045] As figuras 3A-3C são vistas em perspectiva de exemplos de partículas produzidas a partir de cortadores com geometrias diferentes, de acordo com aspectos da presente descrição;

[0046] A figura 4 é um fluxograma que mostra as etapas de um método para produzir partículas usando um dispositivo de torno de acordo com um aspecto da descrição;

[0047] A figura 5 é um desenho esquemático de um sistema para gerar um pó de acordo com um aspecto da descrição;

[0048] As figuras 6A-6C mostram telas de uma interface de usuário para controlar e receber informações de retorno de um sistema de manufatura de pó, incluindo o dispositivo de torno da figura 1A, de acordo com aspectos da presente descrição; e

[0049] As figuras 7A-7C são imagens produzidas por varreduras CT de partículas de pó formadas de acordo com os métodos da presente descrição.

#### Descrição detalhada da presente invenção

[0050] Para o propósito da descrição detalhada a seguir, deve ser entendido que a invenção pode assumir diversas variações alternativas e sequências de etapas, exceto onde expressamente especificado em contrário. Em adição, salvo indicação em contrário, todos os números que expressam, por exemplo, um tamanho, diâmetro ou dimensão máxima de uma partícula, conforme usados no relatório descritivo e nas reivindicações, devem ser entendidos como sendo modificados em todos os casos pelo termo "cerca de". Portanto, a menos que indicado em contrário, os parâmetros numéricos estabelecidos na seguinte descrição e reivindicações anexas são aproximações que podem variar dependendo das propriedades desejadas a serem obtidas pela presente invenção. No mínimo, e não como uma tentativa de limitar a aplicação da doutrina dos equivalentes ao escopo das reivindicações, cada parâmetro numérico deve ao menos ser interpretado à luz do número de dígitos significativos relatados e pela aplicação de técnicas de arredondamento comuns.

[0051] Apesar dos intervalos numéricos e parâmetros que estabelecem o amplo escopo da invenção serem aproximações, os valores numéricos apresentados nos exemplos específicos são relatados do modo mais preciso possível. Entretanto, qualquer valor numérico contém erros inerentes, necessariamente resultantes dos desvios padrões

encontrados em suas respectivas medições de teste.

[0052] Em adição, deve ser entendido que qualquer intervalo numérico citado nesta descrição se destina a incluir todos os subintervalos aqui incluídos. Por exemplo, um intervalo de "1 a 10" se destina a incluir todos e quaisquer subintervalos entre e incluindo o valor mínimo citado de 1 e o valor máximo citado de 10, ou seja, todas os subintervalos começando com um valor mínimo igual a ou maior que 1 e terminando com um valor máximo igual ou menor que 10, e todos os subintervalos intermediários, por exemplo, de 1 a 6,3, ou de 5,5 a 10, ou de 2,7 a 6,1.

[0053] Conforme usado nesta descrição, a forma singular de "um", "uma" e "o/a" inclui os referentes plurais, a menos que o contexto cite claramente o contrário.

[0054] Conforme usado nesta descrição, os termos "topo", "fundo" e seus derivados devem se referir à invenção conforme a mesma estiver orientada nas figuras dos desenhos. O termo "proximal" se refere a uma porção de um objeto mantido por, ou montado em, outra estrutura. O termo "distal" se refere a uma porção de um objeto oposta à extremidade "proximal" do mesmo e, por exemplo, pode ser uma porção livre ou extremidade do objeto que não é mantida por, ou montada em, outra estrutura. No entanto, deve ser entendido que a invenção pode assumir diversas orientações alternativas e, portanto, tais termos não devem ser considerados como limitantes. Em adição, deve ser entendido que a invenção pode assumir diversas variações alternativas e sequências de estágios, exceto quando expressamente especificado em contrário. Também deve ser entendido que os dispositivos e processos específicos ilustrados nos desenhos anexos, e descritos na especificação a seguir, são exemplos. Portanto, as dimensões específicas e outras características físicas relacionadas às formas de realização comentadas nesta descrição não devem ser consideradas como limitantes.

[0055] A presente descrição é direcionada a dispositivos 10, métodos e sistemas de controle 100 para atritar mecanicamente, ou desgastar, um material de origem ou matéria-prima para produzir um pó. O pó desejavelmente inclui partículas adequadas para processos de manufatura aditiva, tal como para uso com impressão 3D e máquinas de prototipagem rápida. O pó pode compreender partículas formadas de metal, cerâmica ou materiais poliméricos. Desejavelmente, o dispositivo 10 fornece maior controle sobre o

tamanho de partícula, proporção de aspecto de morfologia, densidade, porosidade e outras características que podem ser fornecidas por outros processos de manufatura. Acredita-se que o maior controle sobre o tamanho e a forma das partículas seja especialmente útil para processos de manufatura aditiva, como processos de manufatura realizados com impressão 3D e máquinas de prototipagem rápida. Conforme comentado anteriormente, tais processos de manufatura de aditivos geralmente requerem quantidades substanciais de pós compreendendo partículas de tamanho semelhante com formatos substancialmente uniformes.

[0056] Em alguns exemplos, o dispositivo 10 pode produzir um pó com uma distribuição estreita ou rigidamente controlada de tamanho de pó (PSD). Por exemplo, os pós produzidos podem compreender uma pluralidade de partículas, sendo que ao menos cerca de 95% das partículas apresenta um diâmetro ou dimensão máxima inferior a 200  $\mu\text{m}$  e, de preferência, ao menos 95% das partículas apresenta um diâmetro ou dimensão máxima variando em tamanho de cerca de 10  $\mu\text{m}$  a cerca de 200  $\mu\text{m}$ . Teoricamente, o dispositivo 10 poderia produzir um pó em que ao menos 99% das partículas apresente um diâmetro ou dimensão máxima variando de 15  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ . Conforme usado nesta descrição, "dimensão máxima" se refere a uma distância em linha reta mais longa entre pontos em lados opostos de uma partícula ao longo de um eixo da partícula e passando por um centro da partícula. Por exemplo, para uma partícula esférica, a dimensão e o diâmetro máximos são os mesmos. Para partículas de formato cilíndrico, elipsóide ou retangular, a dimensão máxima seria um comprimento axial da partícula.

[0057] Em alguns exemplos, ao menos 95% das partículas do pó podem apresentar um diâmetro ou dimensão máxima dentro de 10% do tamanho alvo. Teoricamente, os métodos aqui descritos podem fornecer um pó em que 95% das partículas apresenta um diâmetro ou dimensão máxima dentro de 1% do tamanho alvo. O tamanho alvo pode ser, por exemplo, um tamanho alvo ideal para impressão 3D. Embora não se pretenda ser limitado à teoria, acredita-se que um tamanho ideal para impressão 3D pode ser de cerca de 15  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ , dependendo do material e da máquina de impressão sendo usada. Por exemplo, o dispositivo 10 pode ser usado para produzir um pó em que 95% das partículas produzidas apresentam um diâmetro ou dimensão máxima de 45  $\mu\text{m} \pm 10\%$ . O

dispositivo 10 também pode ser usado para produzir pós incluindo dois ou mais tamanhos alvo de partícula. Por exemplo, um pó poderia ser preparado no qual 50% das partículas caem dentro de um primeiro intervalo estreito de tamanho e 50% das partículas estão dentro de um segundo intervalo estreito de tamanho diferente e separado do primeiro intervalo de tamanho. Por exemplo, poderia ser produzido um pó em que 50% das partículas apresentem um diâmetro ou dimensão máxima de  $20\ \mu\text{m} \pm 10\%$  e 50% das partículas apresentem um diâmetro ou dimensão máxima de  $80\ \mu\text{m} \pm 10\%$ . O dispositivo 10 pode produzir o pó com o(s) tamanho(s) selecionado(s) de partícula. O usuário pode alterar o tamanho ou formato de partícula desejado facilmente, simplesmente inserindo um novo tamanho de partícula no sistema.

[0058] Embora não se pretenda ser limitado à teoria, acredita-se que o formato ou morfologia das partículas é relacionado ao fluxo das partículas em processos de manufatura aditiva. Em particular, acredita-se que as partículas de certos formatos uniformes fluem mais facilmente através das máquinas de impressão 3D do que os pós, incluindo partículas com formatos diferentes ou não uniformes. O dispositivo 10 fornece um mecanismo para controlar a morfologia das partículas com um alto grau de sensibilidade. Conseqüentemente, o dispositivo 10 pode ser usado para produzir partículas otimizadas para aumento do fluxo em processos de manufatura de aditivos.

[0059] Em adição, o dispositivo 10 pode produzir partículas com uma variedade de morfologias e faixas de aspecto sem introduzir porosidade. Se a morfologia das partículas formadas não for satisfatória, as partículas produzidas pelos métodos aqui descritos podem ser tornadas mais esféricas por técnicas de pós-processamento. Em adição, as partículas produzidas pelos métodos aqui descritos geralmente apresentam baixa porosidade em relação às partículas produzidas por outros métodos. Conforme usado nesta descrição, "materiais de baixa porosidade" são materiais com uma massa interna ou parte volumosa que é substancialmente livre de poros, cavidades, espaços vazios, aberturas ou fendas. Em particular, uma vez que a formação de partículas pelo dispositivo 10 não introduz porosidade, as partículas formadas pelo dispositivo 10 e métodos aqui descritos apresentam substancialmente a mesma porosidade que o material de origem ou peça obra 12. As partículas formadas pelo dispositivo 10 também são mais densas do que

as partículas formadas por métodos de atomização. Em alguns casos, o uso de partículas mais densas para a manufatura aditiva pode reduzir ou eliminar a necessidade de pós-processamento de artigos moldados ou impressos para remover a porosidade. Por exemplo, os artigos moldados feitos usando os pós descritos nesta descrição podem não precisar ser processados por prensagem isostática a quente, como é realizado atualmente durante a manufatura de aditivos.

[0060] Embora não se pretenda ser limitado pela teoria, também se acredita que os dispositivos 10 e métodos aqui descritos produzem partículas de pó com certas vantagens químicas em comparação com partículas formadas por atomização. Por exemplo, os dispositivos 10 e métodos aqui descritos não alteram a composição de fase do material de origem ou matéria-prima durante a formação do pó. Portanto, os dispositivos 10 e métodos aqui descritos podem ser usados para formar pós de materiais não soldáveis, sem etapas de processamento adicionais exigidas pela atomização. Os materiais não soldáveis podem incluir ligas metálicas de alta temperatura de fusão (por exemplo, liga de alumínio da série 7000) e polímeros produzidos com altas temperaturas de fusão. Os materiais de alta temperatura de fusão podem ser não soldáveis porque os precipitados formados a partir de tais materiais tendem a se dissolver novamente na solução durante o aquecimento ou soldagem. Nesse caso, a solução deverá ficar em repouso para permitir que os precipitados voltem a precipitar na solução. De maneira semelhante, a atomização de materiais de alto ponto de fusão também faz com que os precipitados se dissolvam na solução. A fim de remodelar os precipitados, alguns processos de atomização fundem novamente a solução, enquanto outros evitam a fusão total da solução (por exemplo, para processos de jato de aglutinante e pulverização a frio). Em contraste, em um exemplo específico, pós de formatos irregulares formados a partir de uma liga não soldável (por exemplo, alumínio da série 7000) podem ser impressos por um processo de pulverização a frio. Vantajosamente, a composição de fase das partículas de pó é retida durante o processo de formação. A composição da fase também seria preservada durante o jateamento do aglutinante, que também é um processo a frio.

#### Dispositivo de torno de produção de partículas

[0061] As figuras 1A a 2B mostram um dispositivo de torno de produção de pó 10 que

produz partículas de uma peça obra alongada 12 formada a partir de um material a granel. O dispositivo de torno 10 é configurado para produzir partículas de um tamanho predeterminado substancialmente uniforme ou PSD da peça obra 12 com um alto grau de controlabilidade. A peça obra 12 é geralmente um membro alongado que compreende uma primeira extremidade proximal 14, uma segunda ou extremidade distal 16, e um corpo alongado 18 que se estende entre a extremidade proximal 14 e a extremidade distal 16. A peça obra 12 serve como uma fonte de material ou matéria-prima a granel configurada para ser mecanicamente atritada, cortada, raspada, usinada, batida, goivada, cinzelada ou de outra forma contatada para produzir partículas de um tamanho controlável a partir do material a granel da peça obra 12. A peça obra 12 é formada de um material capaz de ser forjado, fundido ou extrudado em um membro alongado ou haste. O material é geralmente de qualidade alta ou premium, e pode ser material virgem de composição conhecida e sem contaminantes. Em alguns exemplos, o material pode ser um material reciclado. O material pode ser um material metálico, tal como aço, níquel, alumínio, titânio, platina, rênio, nióbio e ligas dos mesmos. O material pode ser uma liga de alto desempenho ou de alto ponto de fusão, como o alumínio da série 7000. Em outros casos, a peça obra 12 pode compreender urânio, elementos de terras raras, polímeros e cerâmica. Por exemplo, o material pode ser um polímero produzido, tal como Torlon® poliamida-imida, fabricado pela Solvay AS. Em alguns exemplos, os materiais que precipitam reforços reforçados, que seriam afetados pela atomização, podem ser usados com os dispositivos 10 e métodos descritos aqui sem representar um desafio.

[0062] Em alguns exemplos, o dispositivo de torno 10 compreende um conjunto de retenção 20 configurado para receber e reter com segurança a extremidade proximal 14 da peça obra 12 durante a formação das partículas. Por exemplo, o conjunto de retenção 20 pode compreender uma estrutura travamento anular 22, tal como uma estrutura que compreenda grampos, mandíbulas, castanhas, garras ou conectores semelhantes configurados para receber e pressionar em torno da extremidade proximal 14 da peça obra 12 para manter a peça obra 12 no lugar. Em alguns exemplos, o conjunto de retenção 20 compreende ainda ou está acoplado a um mecanismo de acionamento ou acionador 24 configurado para rotacionar a peça obra 12 a uma taxa de rotação

selecionada. Por exemplo, o acionador 24 pode compreender uma ponta rotativa 26 mecanicamente acoplada à correia rotativa ou eixo de acionamento 28. A correia ou eixo de acionamento 28 pode ser acoplado a e acionado por um motor 30 (mostrado na figura 2A). Quando em uso, a rotação do motor 30 é transferida para a peça obra 12 através da correia ou eixo de acionamento 28. Em alguns exemplos, o motor 30 faz com que a peça obra rotacione totalmente em, por exemplo, uma direção da seta A1 (mostrada nas figuras 2A e 2B). Alternativamente, a peça obra 12 pode ser feita para oscilar para a frente e para trás. Por exemplo, o mecanismo de acionamento 24 pode fazer com que a peça obra 12 rotacione 90° ou mais em uma primeira direção (mostrado pela seta A1) e, em seguida, rotacione 90° ou mais em uma segunda direção (mostrada pela seta A2). Em alguns exemplos, o acionador 24 pode compreender ainda um atuador linear 32 para mover a peça obra 12 para frente e para trás em uma direção axial (mostrada pela seta A3) para expor uma porção maior da área de superfície da peça obra 12 a um conjunto de cortadores 34, 36, conforme descrito em mais detalhes nesta descrição.

[0063] O dispositivo de torno 10 compreende ainda o conjunto de cortadores 34, 36 ou porta-ferramenta incluindo um cortador 38 configurado para contatar o corpo 18 da peça obra 12 para produzir as partículas. Os cortadores 38 podem ter uma variedade de formas e configurações, dependendo do tamanho e das formas das partículas a ser produzidas. Por exemplo, a borda dianteira do cortador 38, que contata a peça obra 12, pode ser, por exemplo, plana, de formato triangular ou arredondada. Acredita-se que cortadores de diferentes formatos 38 produzem partículas com morfologias diferentes.

[0064] Uma série de exemplos de partículas produzidas por cortadores 38 com diferentes formatos são mostrados nas figuras 3A-3C. As figuras 3A-3C destinam-se a demonstrar como cortadores de diferentes formatos 38 produzem partículas com morfologias diferentes. Por exemplo, uma partícula 90 na figura 3A é produzida por um cortador 38 com uma borda de ataque arredondada. Como mostrado na figura 3A, a partícula 90 compreende uma base redonda ou elíptica 60 que se estende até uma ponta arredondada 62. A partícula 90 compreende ainda lados curvos opostos 64 que se estendem entre a base 60 e a ponta 62. Em particular, o cortador redondo 38 produz lados curvos 64, que curva em múltiplas dimensões ou direções.

[0065] A figura 3B é um exemplo de uma partícula 90 formada por um cortador 38 com uma borda de ataque plana. A partícula 90 inclui uma base retangular 66 que se estende até uma ponta arredondada 68. A partícula 90 na figura 3B compreende ainda uma superfície curva 70 que se estende da base 66 até a ponta 68. A superfície curva 70 se curva em uma direção ou dimensão. Em adição, a partícula 90 inclui lados planos opostos 72 formados pela face plana do cortador 38.

[0066] A figura 3C mostra uma partícula 90 formada por um cortador 38 com uma ponta triangular. A partícula 90 compreende uma base arqueada 74. A partícula 90 compreende ainda as superfícies curvas 76, 78 que se estendem da base 74 em direção a uma borda central 80. Geralmente, a ponta triangular produz a borda rígida ou central 80 na partícula 90, resultando em um formato mais complexo do que o fornecido pelos cortadores redondos ou planos 38 descritos anteriormente. Outros projetos de cortador, incluindo disposições mais complexas de ranhuras, saliências, projeções e superfícies também podem ser usados com o dispositivo de torno 10, dentro do escopo da presente descrição, para transmitir morfologias mais complexas às partículas de pó.

[0067] Em alguns exemplos, o conjunto de cortadores 34, 36 pode entrar em contato com a peça obra 12 em uma variedade de posições ou orientações. Por exemplo, o conjunto de cortadores 34, 36 pode ser capaz de rotacionar ou inclinar em relação à peça obra 12 para ajustar a posição de contato. O ajuste da posição de contato pode produzir partículas com morfologias diferentes. Portanto, a capacidade de ajuste do conjunto de cortadores 34, 36 pode fornecer maior controle sobre a morfologia das partículas produzidas e, em particular, pode permitir uma maior sensibilidade e seletividade nos formatos das partículas sendo produzidas.

[0068] Em alguns exemplos, vários conjuntos de cortadores 34, 36 podem ser configurados para contatar a peça obra 12 para formar uma única partícula. Por exemplo, durante uma primeira passagem, um conjunto de cortadores 34 pode contatar a peça obra 12 para produzir um certo padrão de textura ou disposição de sulcos e saliências na superfície da peça obra 12. O mesmo ou um segundo conjunto de cortadores 36 pode então entrar em contato com a superfície da peça obra 12 durante uma segunda passagem para produzir as partículas de superfície texturizada ou sulcadas da peça obra

12. A formação de partículas em várias passagens fornece maior controle sobre o formato das partículas e, em alguns casos, pode permitir que o dispositivo de torno 10 produza partículas com morfologias únicas que não poderiam ser criadas em uma única passagem.

[0069] Em alguns exemplos, o dispositivo de torno 10 pode incluir dois ou mais conjuntos de cortadores 34, 36 configurados para contatar diferentes porções da peça obra 12 para melhorar a produtividade e eficiência. A eficiência é especialmente importante ao adaptar o dispositivo de torno 10 para aplicações industriais. Por exemplo, a fim de ser eficaz para aplicações industriais, o dispositivo de torno 10 pode precisar ser capaz de produzir 100 kg de pó ou mais dentro de um período de tempo razoável. Por exemplo, o dispositivo de torno 10 pode compreender um primeiro conjunto de cortadores 34 espaçado axialmente ao longo de um comprimento da peça obra 12 por uma distância D1 a partir de um segundo conjunto de cortadores 36. Em alguns exemplos, os cortadores 38 dos dois conjuntos de cortadores 34, 36 cada contato com a mesma posição circunferencial da peça obra 12 (por exemplo, os cortadores 38 dos conjuntos 34, 36 podem ser posicionados para contatar a peça obra 12 em, por exemplo, uma posição de 3 horas ou 90 graus). Em outros exemplos, os dois conjuntos de cortadores 34, 36 podem contatar a peça obra 12 em diferentes posições circunferenciais. Por exemplo, o primeiro conjunto de cortadores 34 pode entrar em contato com a peça obra em uma posição de 3 horas e o segundo conjunto de cortadores 36 pode entrar em contato com a peça obra em uma posição de 9 horas.

[0070] Os conjuntos de cortadores 34, 36 podem ainda compreender ao menos um acionador alternante ou mecanismo de acionamento 40 mecanicamente acoplado a ao menos um cortador 38 por, por exemplo, uma haste alternante ou estrutura ressonante 42. Por exemplo, a estrutura ressonante 42 pode ser um sonotrodo sintonizado que é excitado a uma frequência de, por exemplo, 20 kHz. O mecanismo de acionamento 40 é configurado para mover alternadamente o cortador 38 em contato com a, e afastar-se da, peça obra 12 na direção da seta A4 (mostrada nas figuras 2A e 2B). Por exemplo, o mecanismo de acionamento 40 pode ser configurado para mover o cortador 38 a uma baixa frequência ultrassônica de cerca de 10 kHz a cerca de 30 kHz e, de preferência, a cerca de 20 kHz. Em outros exemplos, o cortador 38 pode ser configurado para operar a

uma frequência mais alta de cerca de 30 kHz a 40 kHz ou mais. Em adição, o mecanismo de acionamento 40 é configurado para mover o cortador 38 em direção e para dentro da peça obra 12 de acordo com uma amplitude ou profundidade selecionada. Conforme usado nesta descrição, a "amplitude" do cortador 38 se refere a até que ponto o cortador 38 se move durante cada oscilação ou ciclo. Quanto maior a amplitude, mais longe o cortador 38 é conduzido para a peça obra 12. Conduzir o cortador 38 mais para dentro da peça obra 12 produz partículas maiores. Em adição, conforme descrito em mais detalhes nesta descrição, a amplitude ou movimento do cortador 38 pode precisar ser ajustado durante a operação do dispositivo de torno 10 para levar em conta as mudanças na geometria da peça obra 12. Por exemplo, um diâmetro da peça obra 12 diminui à medida que as partículas vão sendo formadas. Portanto, a fim de continuar a fornecer partículas de tamanho consistente, a posição do cortador 38 ou a velocidade da peça obra deve ser atualizada de acordo com a mudança no diâmetro D5 da peça obra 12. O dispositivo de torno 10 e o sistema de controle 100 descritos nesta descrição podem ser configurados para contabilizar automaticamente tais mudanças no diâmetro D5 da peça obra 12.

[0071] O dispositivo de torno 10 pode compreender ainda um sistema de coleta de pó 45 compreendendo, por exemplo, um recipiente de coleta ou tremonha 44 (mostrado nas figuras 2A e 2B) para receber as partículas formadas pelo contato entre os cortadores 38 e a peça obra 12. Em alguns exemplos, a tremonha 44 pode ser alimentada por gravidade, o que significa que as partículas formadas a partir da peça obra 12 caem na tremonha 44 por gravidade. Em outros exemplos, o sistema de coleta de pó 45 pode compreender vários conjuntos de sucção ou vácuo para puxar partículas para dentro da tremonha 44. Por exemplo, uma bomba de sucção ou vácuo 46 (mostrada nas figuras 2A e 2B) pode ser fornecida para retirar as partículas da peça obra 12 e para a tremonha 44. A sucção também pode ser usada para esvaziar a tremonha 44 uma vez que uma quantidade suficiente de pó tenha sido produzida. Por exemplo, a sucção pode ser usada para puxar as partículas para fora da tremonha 44 e para outro recipiente de armazenamento através de um dreno ou porta de saída.

[0072] Em alguns exemplos, o dispositivo de torno 10 compreende ainda uma ou mais fontes de radiação 48 (mostradas esquematicamente na figura 2A) configuradas para

direcionar um ou mais feixes de radiação em direção à peça obra 12. Por exemplo, a fonte de radiação 48 pode ser um feixe de laser. Acredita-se que a aplicação de radiação à peça obra 12 na proximidade de porções da peça obra 12 sendo contatada pelos cortadores 38 auxilia ou aumenta a remoção de partículas da superfície da peça obra 12. Por exemplo, um feixe de laser pode ser direcionado para a peça obra 12 para amolecer ou enfraquecer as superfícies da peça obra 12. O processamento da superfície da peça obra 12 desta maneira pode reduzir a força que deve ser aplicada pelo cortador 38 para separar as partículas da peça obra 12.

#### Método de produção de pó

[0073] Tendo descrito o dispositivo de torno 10 e a peça obra 12, um método para produzir um pó usando o dispositivo de torno 10 será agora descrito em detalhes. Na figura 4 é mostrado um fluxograma de etapas para realizar o método de produção do pó. Em alguns casos, muitas das etapas do método da figura 4 são executadas automaticamente por um sistema de controle automatizado associado ao dispositivo de torno 10. Em particular, muitas das etapas para selecionar e ajustar os parâmetros operacionais do dispositivo de torno 10 podem ser realizadas automaticamente. Em alguns casos, um usuário pode fornecer uma instrução para o controlador ou sistema de controle sobre um pó a ser formado. Por exemplo, o usuário pode inserir manualmente um tamanho alvo, distribuição de tamanho ou PSD para o pó a ser formado. O usuário também pode inserir um volume total ou massa de pó a ser produzida. Nesse caso, o controlador ou sistema de controle pode ser configurado para calcular parâmetros operacionais ou um programa para produzir o pó com as características selecionadas e emitir instruções de operação para o dispositivo de torno 10 para executar o programa. Uma vez que a quantidade especificada de pó seja produzida e o programa seja concluído, o controlador ou sistema de controle pode ser configurado para desligar o acionador 24 e, em alguns casos, fornecer uma notificação a um usuário de que a produção do pó foi concluída.

[0074] Em outros exemplos, alguns aspectos do método podem ser executados ou controlados manualmente. Por exemplo, o usuário pode inserir manualmente os parâmetros operacionais para o dispositivo de torno 10, acionar o dispositivo de torno 10

para começar a produzir o pó e, quando uma quantidade suficiente de pó tiver sido produzida, desativar manualmente o dispositivo de torno 10.

[0075] O método de produção de pó pode incluir inicialmente, na etapa 410, receber ou determinar entradas para o pó a ser produzido. Conforme comentado anteriormente, as entradas podem incluir um tamanho alvo de partícula ou distribuição de tamanho de pó (PSD). As entradas também podem incluir informações sobre a peça obra, como o tipo de material, densidade do material, massa da peça obra, comprimento, diâmetro, ou quaisquer outras características necessárias para controlar a operação do dispositivo de torno 10. As entradas também podem incluir informações sobre quanto (por exemplo, uma massa ou volume total) pó deve ser produzido.

[0076] Na etapa 412, a peça obra alongada 12 é fornecida ao dispositivo de torno 10. Como comentado anteriormente, a peça obra 12 é geralmente um membro alongado ou haste formada de um material que é capaz de ser fundido, forjado ou extrudado. Em alguns exemplos, fornecer a peça obra 12 inclui cortar a peça obra 12 em um comprimento adequado para uso com o dispositivo de torno 10 e inserir uma extremidade 14 da peça obra 12 no conjunto de retenção 20 do dispositivo de torno 10, como mostrado nas figuras 1A e 1B.

[0077] Na etapa 414, as características da peça obra 12 podem ser determinadas. Na maioria dos casos, essas determinações ocorrerão automaticamente. Por exemplo, o dispositivo de torno 10 pode ser configurado para escanear a peça obra 12 para determinar a geometria da peça obra 12. A fim de escanear a peça obra 12, o dispositivo de torno 10 pode incluir um ou mais sensores ópticos que obtêm imagens da peça obra 12. As imagens podem ser processadas para determinar, por exemplo, um comprimento L2 e diâmetro D5 (mostrado nas figuras 2A e 2B) da peça obra 12. Conforme descrito em detalhes nesta descrição, o comprimento L2 e o diâmetro D5 da peça obra 12 podem ser usados para controlar o movimento dos conjuntos de cortadores 34, 36. Por exemplo, o diâmetro D5 pode ser relevante para determinar uma amplitude para os conjuntos de cortadores 34, 36. Em outros exemplos, as informações sobre a geometria da peça obra 12 podem ser fornecidas ao dispositivo de torno 10 pelo usuário. Por exemplo, um usuário pode inserir manualmente as informações sobre o comprimento, diâmetro, formato e

outras características da peça obra 12 para o processamento pelo sistema de controle 100.

[0078] Na etapa 416, o método compreende ainda determinar parâmetros operacionais para o dispositivo de torno 10 com base nas entradas para o pó a ser produzido (por exemplo, tamanho de partícula e volume total ou massa do pó) e a geometria determinada da peça obra 12. Os parâmetros de operação do dispositivo de torno 10 podem incluir, por exemplo, uma taxa ou frequência alternante do conjunto de cortadores 34, 36 e amplitude do cortador 38 em relação à peça obra 12. Os parâmetros de operação também podem incluir uma taxa de rotação ou taxa de movimento axial da peça obra 12, controlada pelo conjunto de retenção 20. Em alguns exemplos, os parâmetros operacionais podem ser obtidos a partir de uma tabela de consulta ou calculados a partir de uma curva de calibração ou equação de calibração, que fornece parâmetros operacionais otimizados para o dispositivo de torno 10 para um determinado tamanho da partícula e diâmetro da peça. Os valores na tabela de pesquisa e/ou na curva de calibração podem ser determinados experimentalmente. Alternativamente, tais valores podem ser derivados matematicamente usando, por exemplo, software de modelagem de computador para modelar a peça obra 12 e cortadores 38.

[0079] Uma vez que os parâmetros operacionais para atingir o tamanho ou distribuição de partícula alvo sejam determinados, na etapa 418, o dispositivo de torno 10 pode ser automaticamente ou manualmente configurado para executar um programa ou instruções para a produção de partículas nos parâmetros operacionais determinados. Por exemplo, o sistema de controle 100 pode ser configurado para ajustar automaticamente os parâmetros operacionais do dispositivo de torno 10 para os parâmetros determinados. Em outros exemplos, o usuário pode selecionar ou inserir manualmente os parâmetros operacionais para o dispositivo de torno 10 usando um dispositivo de interface apropriado.

[0080] Na etapa 420, o método compreende ainda uma etapa de contatar repetidamente uma superfície externa da peça obra alongada 12 com o cortador alternante 38 para produzir as partículas. Em particular, o dispositivo de torno 10 pode operar os mecanismos de acionamento 24, 40 do conjunto de retenção 22 e os conjuntos de cortadores 34, 36 de acordo com os parâmetros operacionais para formar partículas de

um tamanho e formato desejados. Em particular, os conjuntos de cortadores 34, 36 podem operar com uma frequência suficiente para produzir as partículas do tamanho e formato especificados. Em alguns exemplos, como comentado anteriormente, o conjunto de retenção 20 do dispositivo de torno 10 rotaciona a peça obra 12 na medida em que a mesma estiver sendo contatada pelo cortador 38. Rotacionar a peça obra 12 expõe diferentes porções da superfície da peça obra 12 ao cortador 38. Vantajosamente, expor diferentes porções da peça obra 12 ao cortador 38 ajuda a assegurar que a peça obra se desgaste uniformemente durante o processo de produção.

[0081] Na etapa 422, as partículas produzidas a partir do contato entre o cortador 38 e a peça obra 12 são coletadas no recipiente de coleta ou tremonha 44 do dispositivo de torno 10. Por exemplo, como comentado anteriormente, as partículas da peça obra 12 podem cair no recipiente de coleta ou tremonha 44 por gravidade. Em outros exemplos, sistemas de sucção ou vácuo podem ser usados para puxar as partículas produzidas para o recipiente de coleta ou tremonha 44.

[0082] Na etapa 424, as partículas coletadas podem ser caracterizadas por sensores localizados no recipiente de coleta 44. Por exemplo, os sensores podem ser usados para detectar o tamanho, o formato e outras características das partículas. Em alguns casos, as características detectadas podem ser comparadas às entradas do usuário recebidas na etapa 410. Se as partículas coletadas diferirem das entradas recebidas, os parâmetros operacionais do dispositivo de torno 10 podem ser ajustados dinamicamente para levar em conta tais diferenças. Por exemplo, se as partículas forem muito pequenas, a amplitude do cortador pode ser aumentada e/ou a frequência de rotação pode ser aumentada para que sejam produzidas partículas maiores.

[0083] Em alguns exemplos, os parâmetros operacionais do dispositivo de torno 10 podem ser ajustados dinamicamente enquanto o dispositivo de torno 10 estiver em uso. Por exemplo, o dispositivo de torno 10 pode ser configurado com parâmetros operacionais iniciais para um primeiro período ou inicial. Após o primeiro período ou inicial, os parâmetros operacionais podem ser alterados fazendo com que o dispositivo de torno 10 produza partículas de outro tamanho ou formato. Desta forma, o dispositivo de torno 10 pode ser usado para produzir um pó no qual uma porção substancial de partículas seja

dentro de dois ou mais tamanhos de partícula ou intervalos de tamanho separados. Por exemplo, conforme descrito anteriormente, um pó pode ser produzido de modo que 50% das partículas sejam dentro de um primeiro intervalo (por exemplo, partículas com um diâmetro de 20 µm a 30 µm) e 50% das partículas sejam dentro de um segundo intervalo (por exemplo, 70 µm a 80 µm). Em alguns casos, uma pequena porção das partículas formadas pode não estar em nenhum dos intervalos.

[0084] Na etapa 426, o método pode compreender ainda a monitoração da peça obra 12 à medida que as partículas estão sendo produzidas. Por exemplo, o dispositivo de torno 10 e o sistema de controle 100 podem ser configurados para rastrear mudanças na geometria da peça obra 12 devido ao contato repetido com o cortador 38. Como comentado anteriormente, o diâmetro da peça obra 12 pode diminuir conforme as partículas estejam sendo produzidas. O método pode incluir a atualização periódica dos parâmetros operacionais do dispositivo de torno 10 para levar em conta tais mudanças no diâmetro da peça obra 12. Em adição, a peça obra 12 pode ser monitorada para garantir que a peça obra 12 se desgaste uniformemente e mantenha substancialmente um formato cilíndrico. Se for determinado que a peça obra 12 não esteja se desgastando uniformemente, os conjuntos de cortadores 34, 36 podem ser movidos para entrar em contato com diferentes áreas da peça obra 12 para promover um desgaste mais uniforme.

[0085] Na etapa 428, em alguns exemplos, após o pó ser produzido, o método opcionalmente compreende ainda esferoidização da pluralidade de partículas pela aplicação, por exemplo, de calor e/ou forças abrasivas às partículas. Tal como aqui utilizado, esferoidização se refere a qualquer um de uma série de processos químicos, térmicos ou mecânicos para afetar o formato de uma partícula formada para se assemelhar mais a uma esfera. Partículas esféricas geralmente apresentam uma taxa de fluxo melhor do que partículas não esféricas, especialmente para partículas finas. As partículas finas geralmente fluem mal em comparação com as partículas maiores. Tornar as partículas finas esféricas melhora o fluxo. Em adição, embora não se acredite que o dispositivo 10 e o método aqui descritos introduzam contaminantes de superfície às partículas, as partículas da esferoidização também purificariam as partículas e/ou liberariam quaisquer contaminantes, se presentes, da superfície das partículas.

[0086] Embora não se pretenda ser limitado à teoria, acredita-se que partículas esféricas altamente uniformes podem ser preferidas para certos processos de manufatura de aditivos. Particularmente, as partículas esféricas são frequentemente preferidas na indústria para uso com processos de leito de pó à laser disponíveis atualmente. Outros processos de manufatura de aditivos podem ser insensíveis à morfologia ou podem preferir partículas não esféricas. Conforme comentado anteriormente, os diferentes conjuntos de cortadores 34, 36 podem ser usados para obter certas formas não esféricas. Em adição, outras técnicas de processamento podem ser aplicadas às partículas formadas para obter outras morfologias de partículas não esféricas.

#### Sistema de produção de pó

[0087] Uma vez que foram descritas as características do dispositivo de torno 10 e o método de produção de pó, os componentes elétricos de um sistema de controle 100 para controlar o dispositivo de torno 10 para produzir o pó serão agora descritos em detalhes. Um desenho esquemático do sistema 100 é mostrado na figura 5. O sistema 100 compreende o dispositivo de torno 10, incluindo a peça obra 12 configurada para ser contatada pelos cortadores 38 para produzir partículas. O sistema 100 compreende ainda um controlador 110 acoplado eletricamente a componentes eletromecânicos do dispositivo de torno 10. Por exemplo, o controlador 110 pode ser eletricamente acoplado ao menos ao mecanismo de acionamento ou acionador 24 do conjunto de retenção 20 e o mecanismo de acionamento alternante 40 dos conjuntos de cortadores 34, 36. O controlador 110 pode ser um processador de computador do dispositivo de torno 10 ou um processador de um dispositivo eletrônico separado em comunicação com ou sem fio com o dispositivo de torno 10. Por exemplo, como mostrado na figura 5, o controlador 110 pode ser associado a um dispositivo de computador portátil ou estacionário 112, tal como um tablet, terminal, laptop, desktop ou dispositivo de computador similar como conhecido na arte.

[0088] O controlador 110 também pode ser acoplado a um ou mais componentes de entrada 114 para receber as seleções do usuário e as instruções de operação. Por exemplo, o componente de entrada 114 pode compreender botões e/ou uma tela de toque do dispositivo de torno 10. Em outros exemplos, o componente de entrada 114

pode ser um teclado, mouse, tela de toque ou acessório de entrada de dados semelhante do dispositivo portátil ou dispositivo de computador estacionário 112. Em outros exemplos, o componente de entrada 114 pode ser uma interface de comunicação com fio ou sem fio 116, configurada para receber as instruções de dispositivos eletrônicos remotos e redes. Por exemplo, os usuários podem inserir instruções usando um dispositivo de computador remoto. As instruções inseridas podem ser transmitidas e recebidas pelo controlador 110 através da interface de comunicação 116.

[0089] Em alguns exemplos, o ao menos um controlador 110 recebe as instruções operacionais dos usuários por meio dos componentes de entrada 114. As instruções operacionais podem compreender parâmetros operacionais inseridos manualmente para o dispositivo de torno 10. Por exemplo, o usuário pode inserir manualmente a frequência ou amplitude para o conjunto de cortadores 34, 36. Nesse caso, o controlador 110 pode ser configurado para enviar instruções para o dispositivo de torno 10, fazendo com que o dispositivo de torno 10 opere de acordo com os parâmetros inseridos manualmente.

[0090] Em outros exemplos, conforme descrito em conexão com a etapa 410 na figura 4, o usuário insere as informações sobre as partículas ou pó a serem produzidos. Por exemplo, o usuário pode inserir um tamanho alvo de partícula ou distribuição de tamanhos alvos da partícula. O controlador 110 pode ser configurado para determinar os parâmetros operacionais para o dispositivo de torno 10 com base nas entradas recebidas dos usuários. Por exemplo, os parâmetros operacionais podem ser determinados ou calculados a partir de valores em uma tabela de pesquisa ou curva de calibração e com base no tamanho alvo de partícula ou distribuição e uma geometria da peça obra. Uma vez que os novos parâmetros operacionais são conhecidos ou determinados, o controlador 110 pode ser configurado para configurar ou ajustar os parâmetros operacionais do dispositivo de torno 10, de modo que o dispositivo de torno 10 opere de acordo com os novos parâmetros operacionais.

[0091] Em alguns exemplos, o sistema 100 compreende ainda os sensores 118, 120 eletricamente acoplados ao controlador 110. Por exemplo, o sistema 100 pode incluir sensores 118 posicionados no dispositivo de torno 10 para escanear a peça obra 12. Os sensores 118 podem ser montados no dispositivo de torno 10 na proximidade dos

conjuntos de cortadores 34, 36 ou do conjunto de retenção 20. Os sensores 118 podem ser sensores ópticos configurados para obter imagens da peça obra 12. As imagens podem ser processadas para determinar, por exemplo, um diâmetro e/ou comprimento da peça obra 12. As informações dos sensores 118 podem ser recebidas e processadas pelo controlador 110 para monitorar as alterações na geometria da peça obra 12 causadas pelo contato repetido com os conjuntos de cortadores 34, 36.

[0092] O sistema 100 também pode incluir os sensores 120 posicionados próximo do, ou no, recipiente de coleta ou tremonha 44. Os sensores 120 podem ser configurados para detectar as informações representativas das características das partículas produzidas. Por exemplo, os sensores 120 podem ser posicionados próximo de uma abertura do recipiente de coleta ou tremonha 44 de modo que as partículas que caem no recipiente de coleta 44 passem dentro de um campo de visão dos sensores 120. Os sensores 120 podem ser configurados para detectar as informações sobre as partículas que passam pelo campo de visão. Por exemplo, tais sensores 120 podem ser configurados para medir as características das partículas, incluindo média do volume da partícula, volume médio da partícula, distribuição de volume da partícula ou esfericidade média das partículas. O sistema 100 também pode incluir sensores 122 posicionados, ou associados, na tremonha 44 para medir a qualidade do pó produzido. Por exemplo, os sensores 122 podem compreender uma escala para medir uma massa total do pó produzido. O sensor 122 também pode ser configurado para medir um volume total do pó produzido.

[0093] Em alguns exemplos, o controlador 110 pode ser configurado para receber as informações detectadas pelos sensores 118, 120, 122 e para ajustar os parâmetros operacionais para o dispositivo de torno 10 com base nas informações recebidas. Desta forma, as informações para os sensores 118, 120, 122 podem ser usadas como um circuito de retorno de informações para otimizar ou ajustar a operação do dispositivo de torno 10. Por exemplo, as informações sobre mudanças na geometria da peça obra 12 podem ser usadas para atualizar os parâmetros operacionais do dispositivo de torno 10 de modo que o dispositivo de torno 10 continue a produzir partículas do tamanho alvo de partícula. Em particular, como comentado anteriormente, o diâmetro da peça obra 12 diminui devido à formação das partículas a partir da peça obra 12. Parâmetros

operacionais, incluindo amplitude e taxa de rotação, podem precisar ser ajustados para levar em conta tais mudanças no diâmetro da peça obra 12. Em adição, as informações dos sensores 120, 122 no recipiente de coleta 44 podem determinar as características das partículas sendo produzidas. Se, com base nas informações detectadas, o controlador 110 determinar que o volume ou tamanho médio de partícula está diferente de um volume ou tamanho de partícula antecipado ou alvo, o controlador 110 pode ser configurado para ajustar os parâmetros operacionais do dispositivo de torno 10 para levar em conta tais diferenças. Por exemplo, se as partículas sendo produzidas forem determinadas como maiores do que um tamanho alvo de partícula, a frequência alternante do conjunto de cortadores 34, 36 pode ser aumentada para reduzir a quantidade de tempo que o cortador 38 fique em contato com a peça obra 12. Da mesma forma, uma amplitude do conjunto de cortadores 34, 36 pode ser ajustada de modo que o cortador 38 não pressione tanto na peça obra 12, produzindo assim partículas menores.

#### Interfaces de usuário para sistemas de produção de pó

[0094] Em alguns exemplos, o sistema 100 compreende ainda um módulo de interface de usuário 124 em comunicação com ou sem fio com o controlador 110. Geralmente, o módulo de interface de usuário 124 recebe entradas de usuário, tais como entradas sobre o tamanho alvo da partícula e outras características da partícula. O controlador 110 processa as entradas e, como descrito anteriormente, pode controlar a operação do dispositivo de torno 10 com base, ao menos em parte, nas entradas de usuário recebidas. O controlador 110 também pode fornecer notificações e retornar informações sobre as partículas sendo formadas e/ou processo de manufatura para o módulo de interface de usuário 124. Por exemplo, o controlador 110 pode emitir notificações quando diferentes aspectos do processo de manufatura foram concluídos. O controlador 110 também pode monitorar o progresso do processo de formação de pó e fornecer, por exemplo, estimativas para o tempo restante. Essas informações e notificações podem ser fornecidas ao módulo de interface de usuário 124. O módulo de interface de usuário 124 pode fazer com que um dispositivo de retorno de informação, tal como um monitor de visualização 126, forneça as informações aos usuários.

[0095] A interface de usuário 124 pode incluir uma série de telas ou páginas de

aplicativos para receber entradas e fornecer informações de retorno aos usuários. Exemplos de tais telas são mostrados nas figuras 6A-6C.

[0096] A figura 6A mostra um exemplo de uma tela de entrada inicial 610 para o dispositivo de torno 10. A tela de entrada inicial 610 pode compreender uma série de campos de entrada de dados que permitem ao usuário inserir informações sobre um pó sendo produzido. Por exemplo, a tela 610 pode compreender um ou mais campos 612 para o usuário inserir um tamanho alvo de partícula. A tela 610 também pode incluir campos 614 para um usuário especificar qual porcentagem das partículas deve apresentar um tamanho específico. Por exemplo, como mostrado na figura 6A, um usuário pode especificar que 50% das partículas devem ter cerca de 25  $\mu\text{m}$  e 50% das partículas devem ter cerca de 50  $\mu\text{m}$  de diâmetro. O usuário também pode inserir entradas para o pó a ser produzido. Por exemplo, a tela 610 pode incluir um campo 616 para o usuário inserir a massa total de pó necessária. Em alguns exemplos, a tela 610 também pode incluir uma seção 618 para inserir informações sobre a peça obra 12 (por exemplo, um comprimento e diâmetro inicial da peça obra), que pode ser usada para determinar parâmetros operacionais para o dispositivo de torno 10. Em outros exemplos, como comentado anteriormente, as informações sobre a peça obra 12 podem ser determinadas automaticamente por sensores associados ao dispositivo de torno 10. Em alguns exemplos, a seção 618 também pode incluir, por exemplo, listas suspensas ou menus que permitem ao usuário identificar o material de origem (por exemplo, de uma lista que inclui alumínio, aço inoxidável, liga de níquel e titânio). A seção 618 também pode incluir uma lista suspensa ou menu que permite ao usuário selecionar uma morfologia para as partículas a serem produzidas. Em alguns casos, certos parâmetros operacionais do dispositivo 10 podem ser ajustados para aumentar a possibilidade de que sejam produzidas partículas com uma morfologia especificada. Conforme comentado anteriormente, as partículas também podem ser modificadas, por exemplo, por pós-processamento para obter morfologias de partículas mais específicas.

[0097] A figura 6B mostra uma tela 630 que pode ser fornecida ao usuário enquanto o torno o dispositivo 10 estiver em uso. Por exemplo, a tela 630 pode ser mostrada a um usuário para informar ao usuário como o dispositivo de torno 10 está progredindo na

execução de um programa de produção de energia usando as entradas do usuário fornecidas na tela 610. A tela em uso 630 pode compreender uma seção 632 com informações cumulativas sobre o pó que está sendo produzido. Por exemplo, a seção 632 pode incluir dados em tempo real para as características das partículas produzidas, incluindo diâmetro médio de partícula, volume médio de partícula, esfericidade média e informações semelhantes. A tela 630 também pode incluir uma seção 634 com informações sobre o progresso em direção à conclusão do programa. Por exemplo, a seção 634 pode incluir informações sobre uma massa ou volume total de pó produzido até o momento. A seção 634 também pode incluir, por exemplo, um cronômetro de contagem regressiva 636 mostrando um tempo estimado até que o volume total necessário ou massa de pó tenha sido produzido.

[0098] A figura 6C mostra uma tela de programa completo 650, que pode ser exibida para um usuário após o dispositivo de torno 10 ter concluído a preparação do pó de acordo com as entradas iniciais do usuário. A tela 650 pode incluir, por exemplo, uma notificação de texto 652 informando ao usuário que o programa foi concluído. A tela 650 pode compreender ainda uma seção 654 com as estatísticas para o programa concluído, incluindo, por exemplo, um tempo total necessário, massa total de pó produzida ou volume total de pó produzido. A tela 650 pode compreender ainda, por exemplo, um gráfico 656 mostrando, por exemplo, a distribuição de tamanho de pó (PSD) para o pó produzido. A tela 650 também pode incluir uma seção 658 com as informações sobre as partículas do pó incluindo, por exemplo, diâmetro médio da partícula, volume médio da partícula ou esfericidade média. As informações sobre as características das partículas podem ser coletadas por sensores associados ao recipiente de coleta 44, conforme descrito anteriormente.

### Exemplos

[0099] As partículas foram produzidas usando o método aqui descrito, no qual uma matéria-prima de metal forjado foi contatada repetidamente por um dispositivo de corte em uma frequência ultrassônica baixa de cerca de 20 kHz para produzir um pó consistindo em partículas. As partículas formadas tinham cerca de 50  $\mu\text{m}$  a 75  $\mu\text{m}$  de tamanho. As partículas formadas eram geralmente de formato triangular. No entanto, acredita-se que

seja pela otimização dos parâmetros operacionais do dispositivo de torno e/ou pós-processamento, as partículas esféricas podem ser produzidas usando os métodos aqui descritos.

[00100] As Imagens de CT de um escaneamento de 2  $\mu\text{m}$  das partículas formadas foram capturadas e revisadas. As imagens CT capturadas são mostradas nas figuras 7A-7C. As imagens de CT mostraram que as partículas formadas pareciam limpas em termos de porosidade. Em particular, nenhuma evidência de porosidade encapsulada (por exemplo, fechada) nas partículas foi observada.

[00101] Embora a invenção tenha sido descrita em detalhes com o propósito de ilustração com base no que é atualmente considerado como as formas de realização mais práticas e preferidas, deve ser entendido que tal detalhe é apenas para esse propósito e que a invenção não está limitada às formas de realização descritas, mas, ao contrário, se destina a cobrir modificações e disposições equivalentes. Em adição, deve ser entendido que a presente invenção contempla que, na medida do possível, uma ou mais características de qualquer forma de realização podem ser combinadas com uma ou mais características de qualquer outra forma de realização.

## Reivindicações

1. Método de produção de pó, **caracterizado por** compreender:
  - fornecer uma peça obra alongada (12) que compreende uma primeira extremidade (14), uma segunda extremidade (16), e uma superfície lateral que se estende entre a primeira extremidade (14) e a segunda extremidade (16); e
  - contatar repetidamente a superfície lateral da peça alongada (12) com uma pluralidade de cortadores alternantes (38) de acordo com ao menos uma frequência predeterminada para produzir um pó compreendendo uma pluralidade de partículas, em que a pluralidade de cortadores alternantes (38) estão alinhados paralelos a um eixo longitudinal da peça alongada (12) e se movem em uma direção (A4) ortogonal ao eixo longitudinal da peça alongada (12), em que a frequência predeterminada da pluralidade de cortadores alternante (38) é pelo menos de 10 kHz, em que ao menos 95% das partículas produzidas apresentam um diâmetro ou dimensão máxima variando de 10  $\mu\text{m}$  a 200  $\mu\text{m}$ .
2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a peça obra alongada (12) compreender um material fundido, forjado ou extrudável.
3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a peça obra alongada (12) compreender uma haste de metal forjado.
4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** a haste de metal forjado compreender um ou mais dentre aço, níquel, alumínio, titânio, platina, rênio, nióbio e ligas dos mesmos.
5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a peça obra (12) compreender ao menos um dentre urânio, elementos de terras raras, polímeros e cerâmica.
6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** ao menos 95% das partículas da pluralidade de partículas apresentar um diâmetro dentro de 10% de um tamanho alvo.
7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado por** o tamanho alvo compreender um diâmetro ou dimensão máxima variando de 15  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ .

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** ao menos 95% das partículas da pluralidade de partículas apresentar um diâmetro que varia de 15  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ .

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** ao menos 99% das partículas da pluralidade de partículas apresentar um diâmetro que varia de 15  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ .

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o contato repetido da peça obra (12) com a pluralidade de cortadores alternantes (38) (38) de acordo com ao menos uma frequência predeterminada compreender o contato da peça obra (12) de acordo com uma primeira frequência por um primeiro período de tempo predeterminado seguido pelo contato da peça obra (12) de acordo com uma segunda frequência diferente da primeira frequência por um segundo período de tempo predeterminado, e em que a primeira frequência e a segunda frequência são cada uma pelo menos 10 kHz.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado por** o contato repetido da peça obra (12) de acordo com a primeira frequência produzir uma primeira pluralidade de partículas, sendo que ao menos 95% das partículas da primeira pluralidade de partículas apresentam um diâmetro ou dimensão maior dentro de 10% de um tamanho do primeiro alvo.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado por** o contato repetido da peça obra (12) de acordo com a segunda frequência produzir uma segunda pluralidade de partículas, sendo que ao menos 95% das partículas da segunda pluralidade de partículas apresentam um diâmetro ou dimensão maior dentro de 10% de um tamanho do segundo alvo, que é diferente do tamanho do primeiro alvo.

13. Método, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado por** compreender ainda selecionar uma distribuição de tamanho alvo de partícula compreendendo partículas do primeiro tamanho alvo e partículas do segundo tamanho alvo e, antes de contatar a peça obra pela pluralidade de cortadores alternantes (38), determinar o primeiro período de tempo e o segundo período de tempo com base na distribuição de tamanho de partícula selecionada.

14. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a produção do pó não introduzir porosidade às partículas, de modo que a pluralidade de partículas apresente a mesma porosidade que a porosidade da peça alongada (12).

15. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender ainda rotacionar a peça obra (12) a uma taxa de rotação selecionada conforme a peça obra (12) é contatada pela pluralidade de cortadores alternantes (38), sendo que a taxa de rotação é determinada com base em um tamanho alvo de partícula a ser produzida.

16. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o contato repetido da peça obra (12) com a pluralidade de cortadores alternantes (38) compreender o contato de uma primeira porção da peça obra (12) com um primeiro cortador (38) da pluralidade de cortadores alternantes e o contato de uma segunda porção da peça obra (12) com um segundo cortador (38) pluralidade de cortadores alternantes.

17. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender ainda, após o pó ser produzido, a esferoidização da pluralidade de partículas pela aplicação ao menos de um dentre calor, forças abrasivas e agentes químicos às partículas.

18. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender ainda expor a peça obra (12) a um laser (48) enquanto contata a peça obra (12) com a pluralidade de cortadores alternantes (38) para auxiliar na remoção da pluralidade de partículas da peça obra (12).

19. Sistema (100) para produção de um pó o qual ao menos 95% da pluralidade de partículas do pó apresenta um diâmetro que varia de 10  $\mu\text{m}$  a 200  $\mu\text{m}$ , como medido por um sensor (120), conforme método descrito na reivindicação 1, o sistema **caracterizado por** compreender:

- uma pluralidade de cortadores alternantes (38) configurados para contatar uma superfície lateral de uma peça obra alongada (12) para remover partículas da peça obra (12);
- ao menos um acionador (24, 40) mecanicamente acoplado à pluralidade de cortadores alternantes (38) configurado para mover alternantemente a pluralidade de cortadores alternantes (38) em contato com e para longe da peça obra (12); e
- ao menos um controlador (110) conectado eletricamente a ao menos um acionador

(24, 40) que compreende um componente de entrada (114), o controlador (110) sendo configurado para fazer com que o ao menos um acionador (24, 40) mova a pluralidade de cortadores alternantes (38) em contato com a, e afastar-se da, peça obra (12) a uma frequência de pelo menos 10 kHz e de acordo com um ou mais parâmetros operacionais recebidos do componente de entrada (114),

em que o contato repetido entre a peça obra (12) e a pluralidade de cortadores alternantes (38) produz o pó que compreende a pluralidade de partículas,

em que a pluralidade de cortadores alternantes (38) está alinhada em paralelo a um eixo longitudinal da peça alongada (12), e

em que o ao menos um acionador (24, 40) move a pluralidade de cortadores alternantes (38) em uma direção ortogonal ao eixo longitudinal da peça alongada (12).

20. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado por** os parâmetros operacionais compreenderem um ou mais de uma taxa de rotação da peça obra (12), uma frequência alternante da pluralidade de cortadores alternantes (38) de pelo menos 10 kHz ou uma amplitude da pluralidade de cortadores alternantes (38) em relação à superfície lateral da peça obra (12).

21. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado por** compreender ainda um recipiente de coleta (44) configurado para receber a pluralidade das partículas formadas pelo contato repetido entre a pluralidade de cortadores alternantes (38) e a peça obra (12).

22. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado por** o recipiente de coleta (44) compreender um vácuo (46) configurado para aspirar o pó para o recipiente de coleta (44).

23. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 22, **caracterizado por** o recipiente de coleta (44) compreender um ou mais sensores (118, 120) eletricamente conectados a ao menos um controlador (110), o um ou mais sensores (118, 120) sendo configurados para medir as características do pó produzido, e sendo que o ao menos um controlador (110) é configurado para modificar um ou mais parâmetros operacionais de ao menos um acionador (24, 40) com base nas informações detectadas por um ou mais sensores (118, 120).

24. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado por** um ou mais sensores (118, 120) serem configurados para detectar ao menos um dentre: media do volume de partícula, volume médio de partícula, distribuição de volume de partícula, peso total de pó, volume total de pó ou esfericidade média das partículas.

25. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado por** ao menos um controlador (110) ser configurado para receber através do componente de entrada (114) um tamanho alvo de partícula e para ajustar automaticamente um ou mais parâmetros operacionais do acionador (24, 40) para produzir partículas do tamanho selecionado.

26. Sistema (100), de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado por** o tamanho alvo selecionado da partícula poder ser ajustado dinamicamente por um usuário enquanto o acionador (24, 40) estiver em operação.

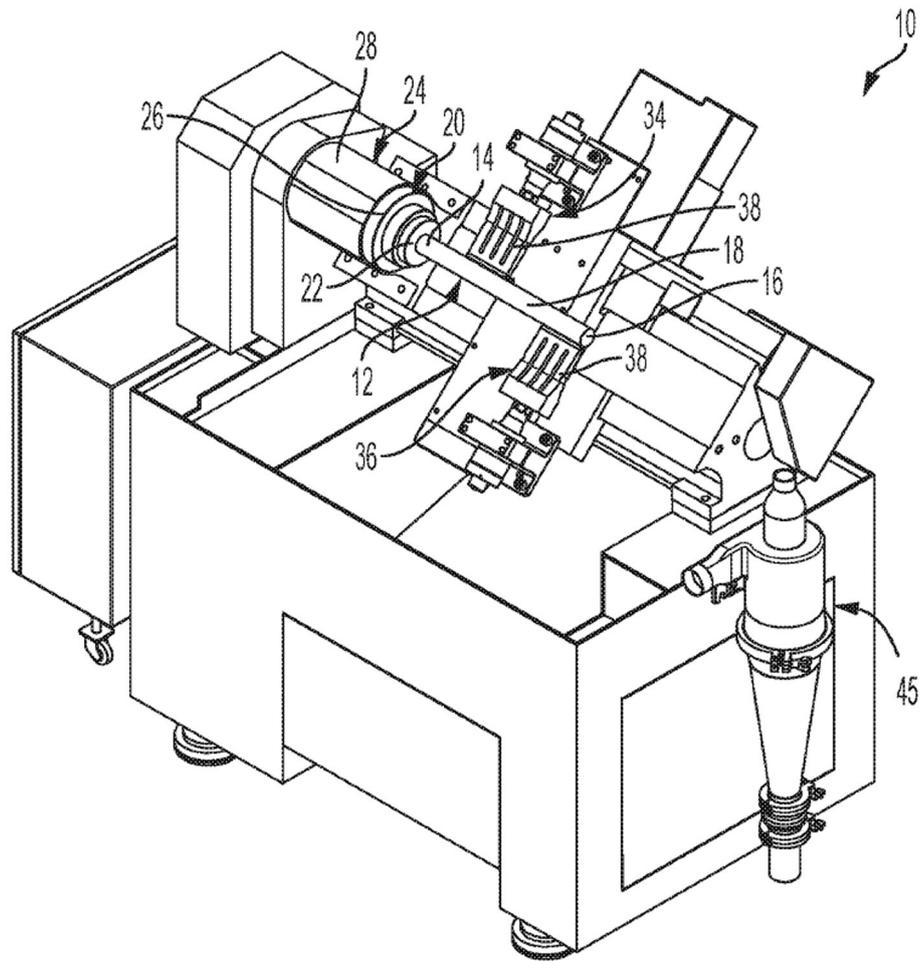


Fig 1A

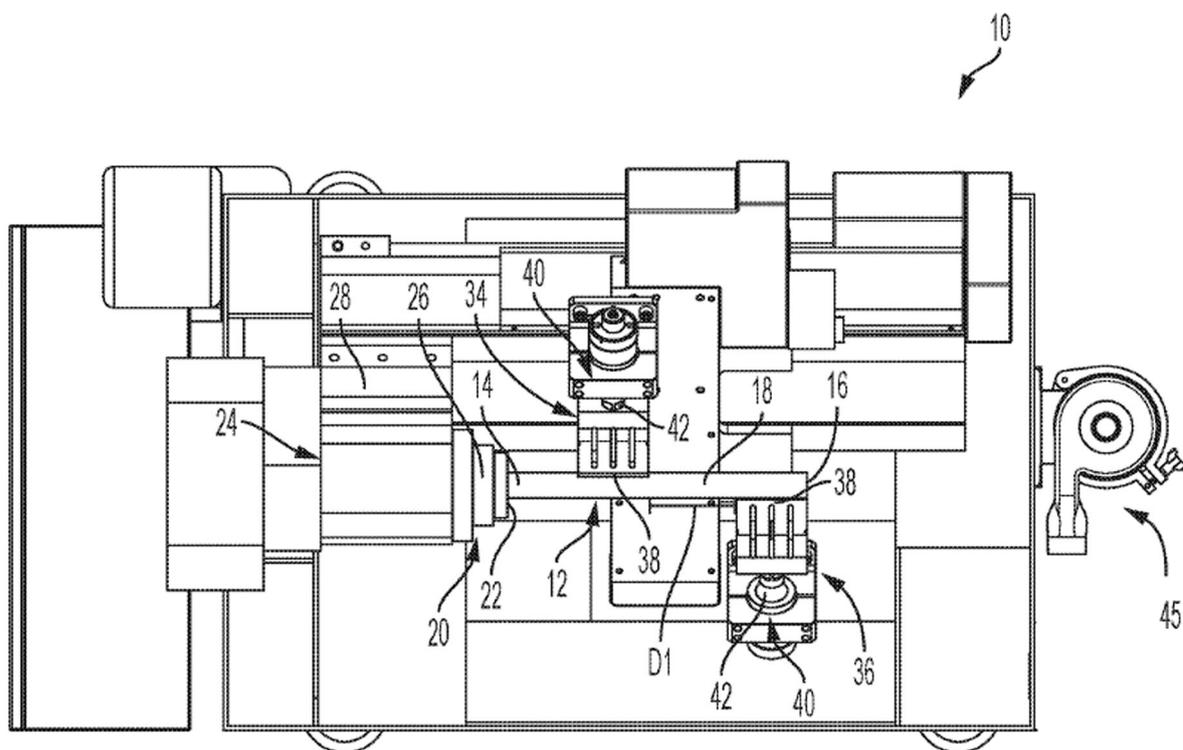


Fig 1B

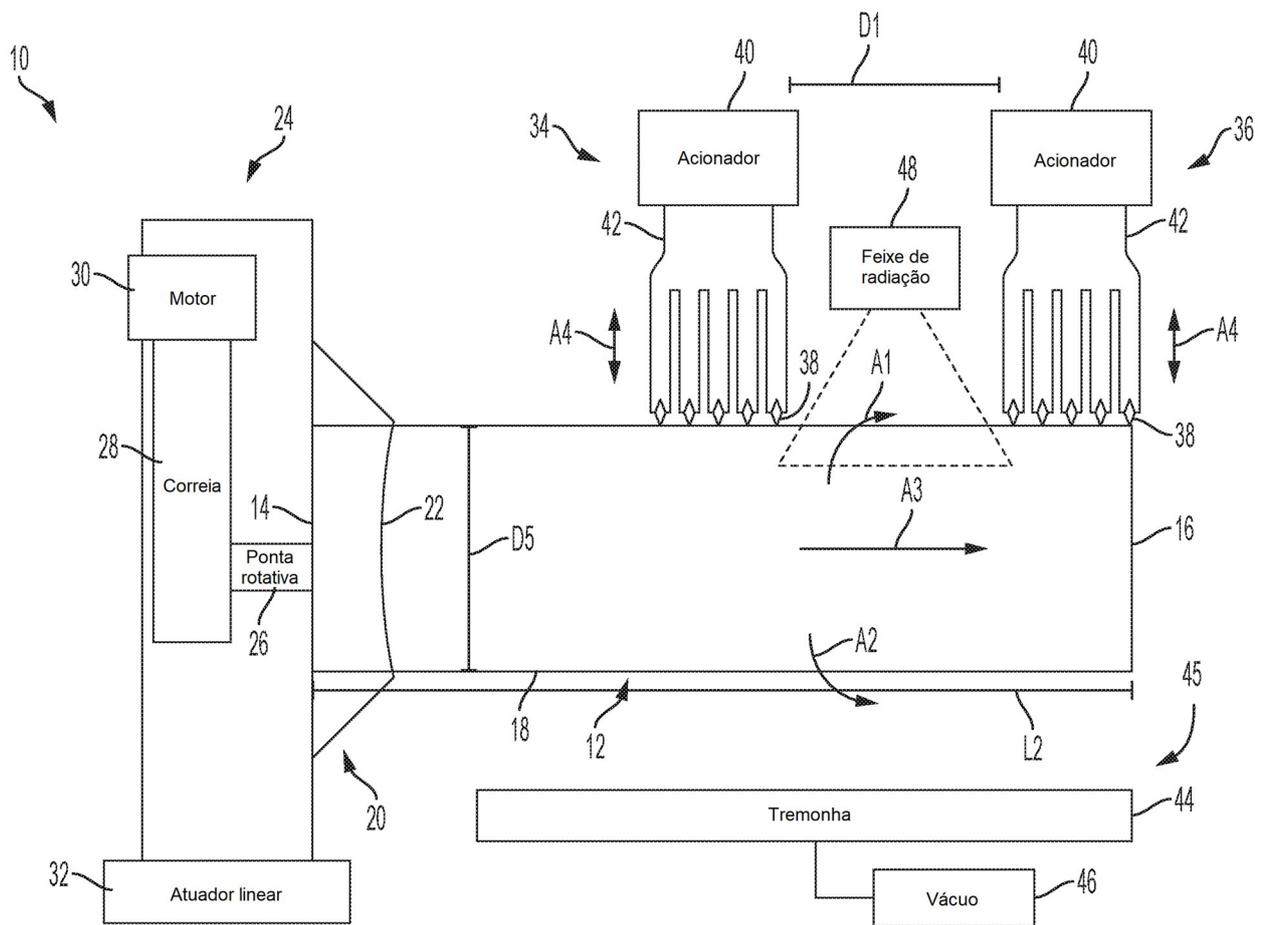


Fig 2A

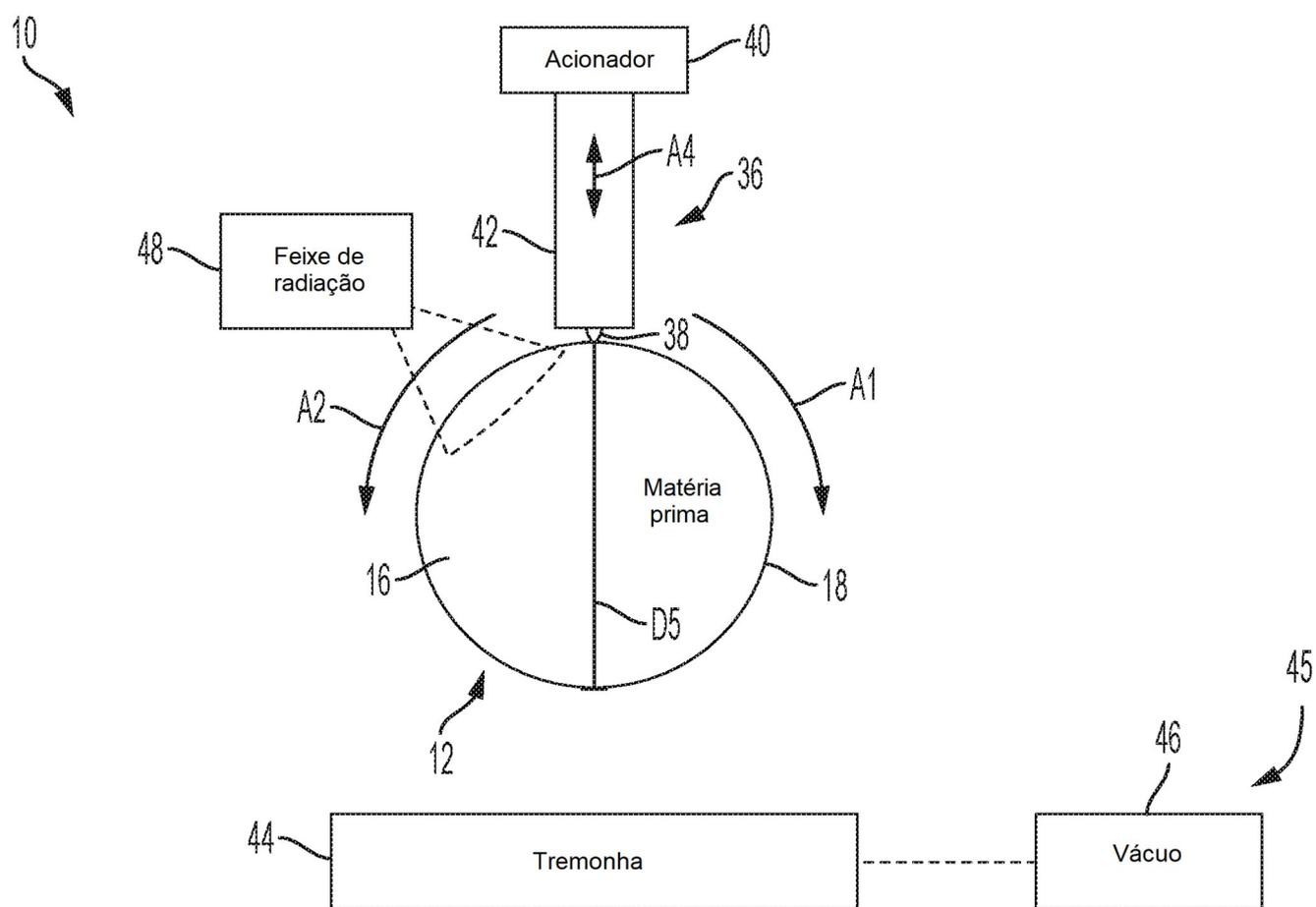


Fig 2B

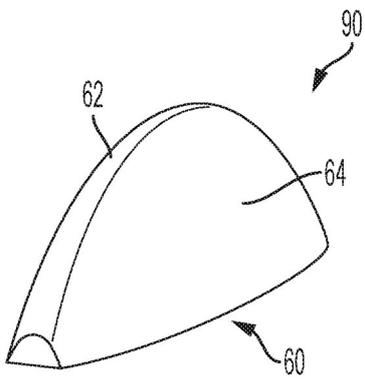


Fig 3A

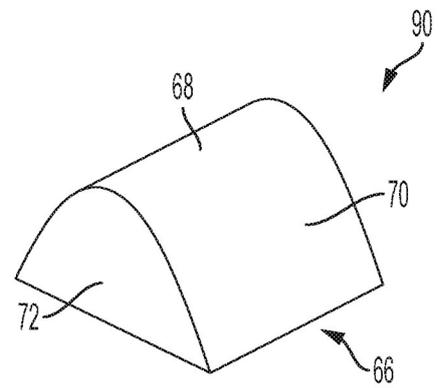


Fig 3B

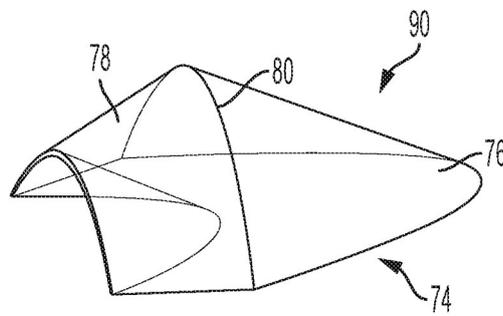


Fig 3C

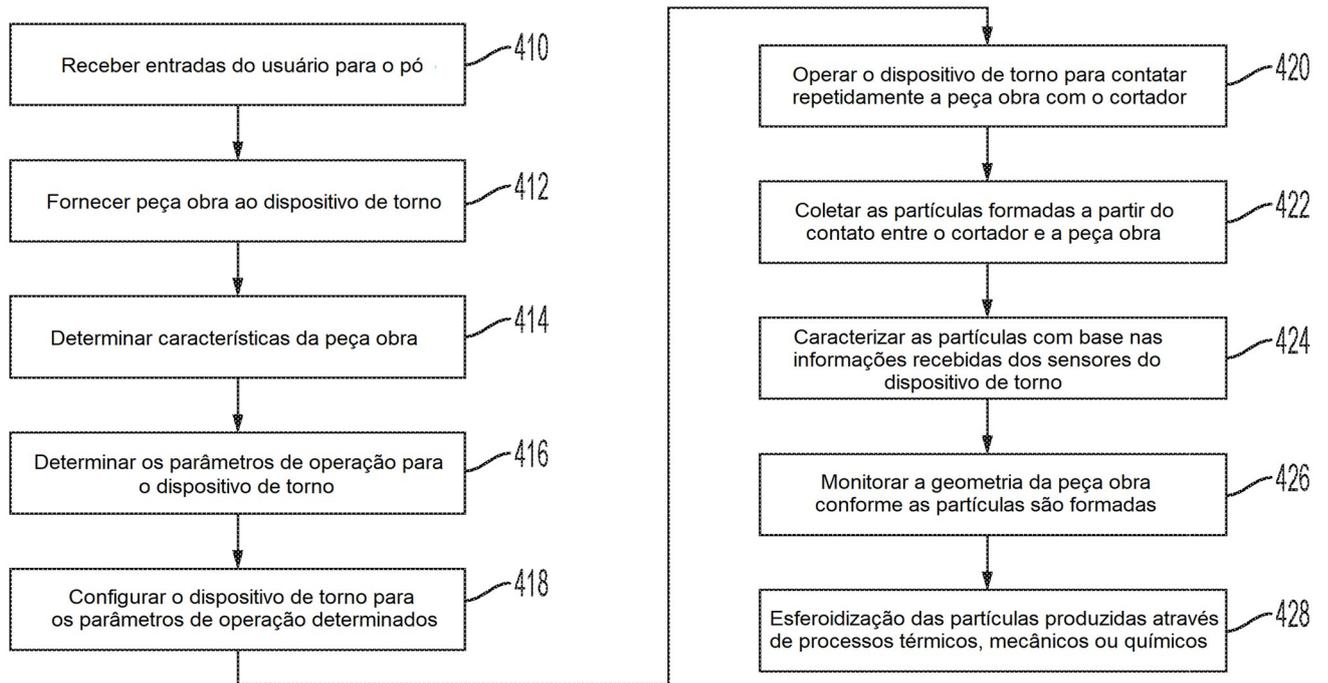


Fig 4

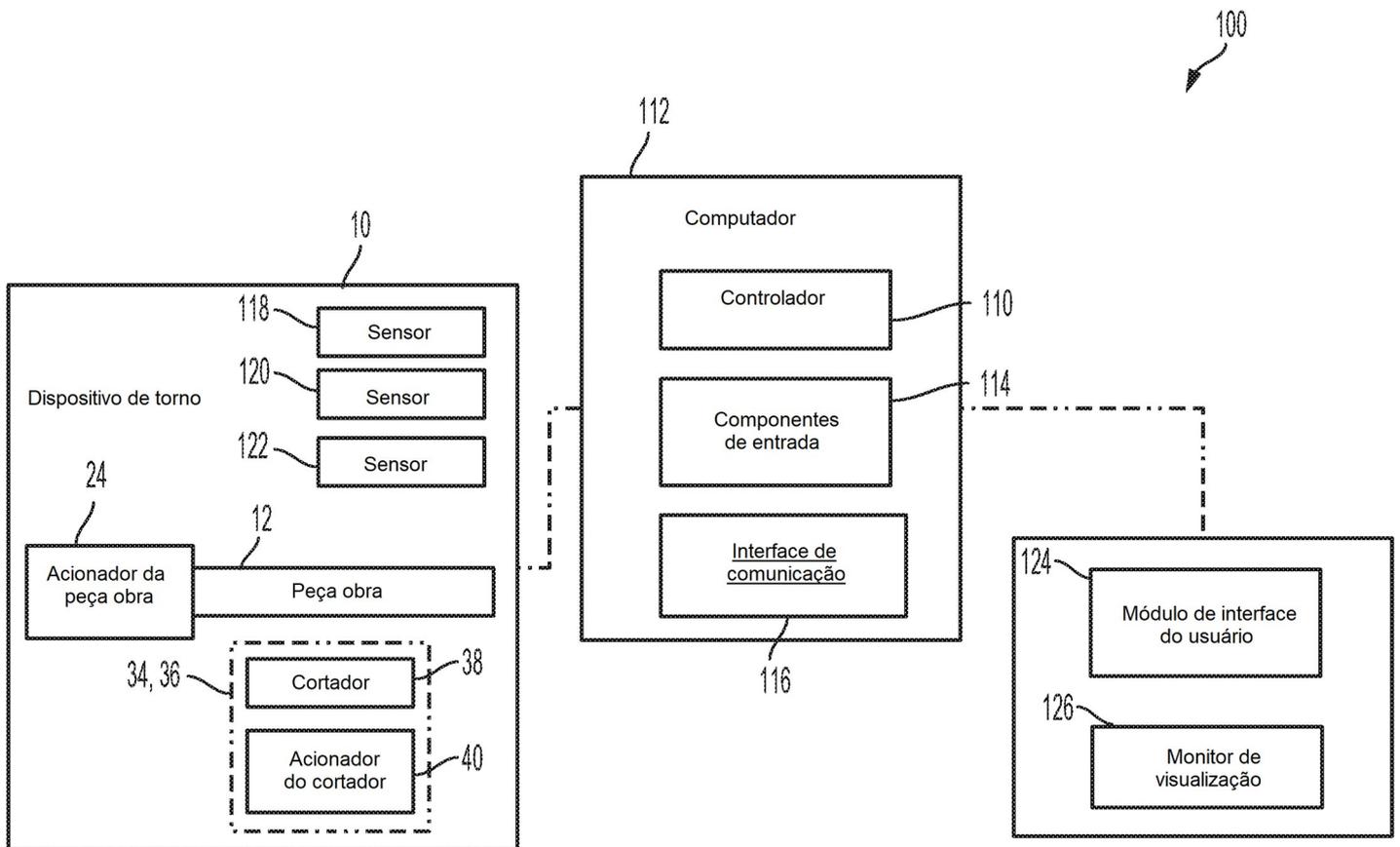


Fig 5

Máquina de produção de pó 610

Entre com tamanho alvo da partícula

	Tamanho ( $\mu\text{m}$ )	%
Partícula 1	612 20	614 25
Partícula 2	612 40	614 50
Partícula 3	612 80	614 25

Entre com informações do pó 616

Volume total ( $\text{cm}^3$ ) 10.0

Massa total (g) 270.0

Entre com informações da matéria prima 618

Comprimento (cm) 10      Diâmetro (cm) 1

<p>Material</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #cccccc;">Alumínio</td></tr> <tr><td>Aço Inox</td></tr> <tr><td>Liga de níquel</td></tr> <tr><td>Titânio</td></tr> </table>	Alumínio	Aço Inox	Liga de níquel	Titânio	<p>Morfologia</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #cccccc;">Esfera</td></tr> <tr><td>Plaqueta</td></tr> <tr><td>Disco</td></tr> <tr><td>Cilindro</td></tr> </table>	Esfera	Plaqueta	Disco	Cilindro
Alumínio									
Aço Inox									
Liga de níquel									
Titânio									
Esfera									
Plaqueta									
Disco									
Cilindro									

Fig 6A

Máquina de produção de pó 630

Estatísticas cumulativas

Volume médio da partícula ( $\mu\text{m}^3$ ) 33510

Diâmetro médio da partícula ( $\mu\text{m}$ ) 40

Esfericidade 0.986

Estatísticas do Pó/Programa

Volume total ( $\text{cm}^3$ ) 25

Massa total (g) 167

Tempo restante 05 min 28 seg 636

Porcentagem concluída

62%

Fig 6B

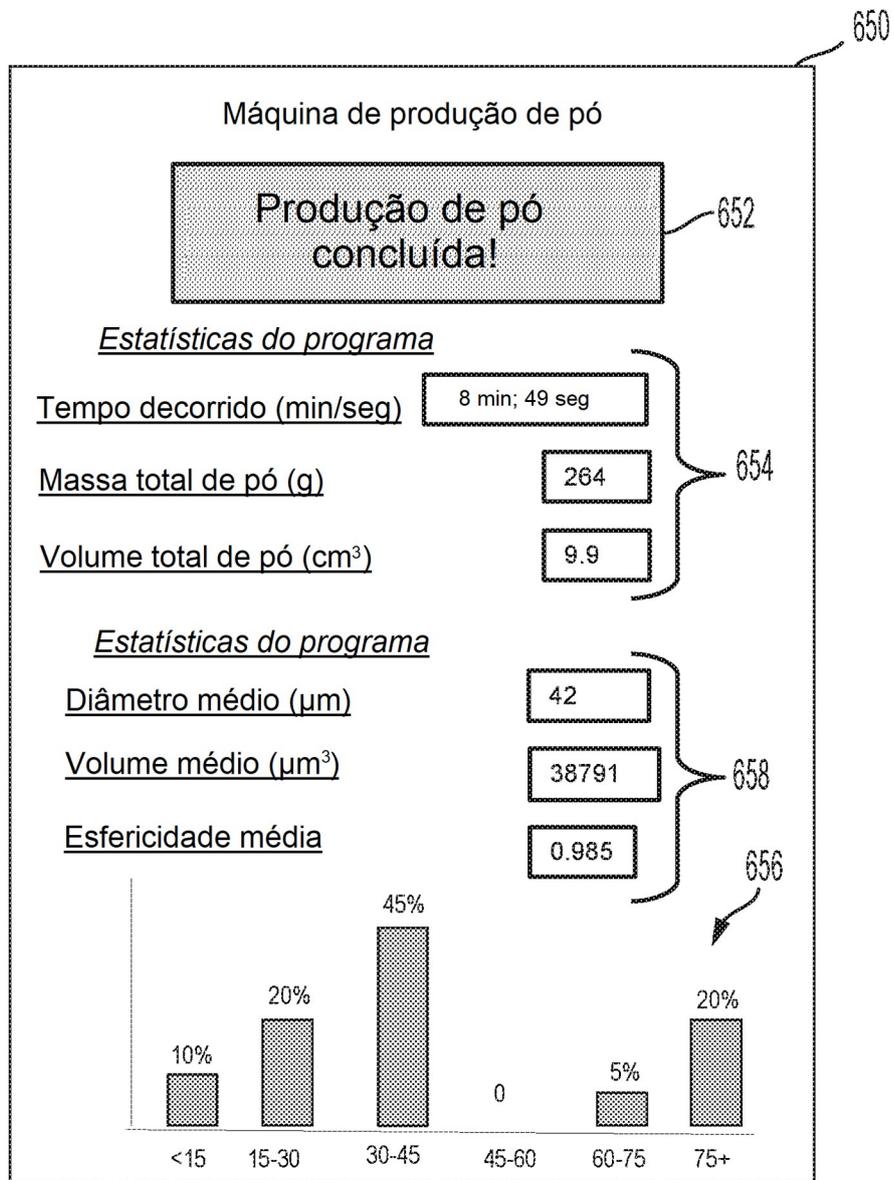


Fig 6C

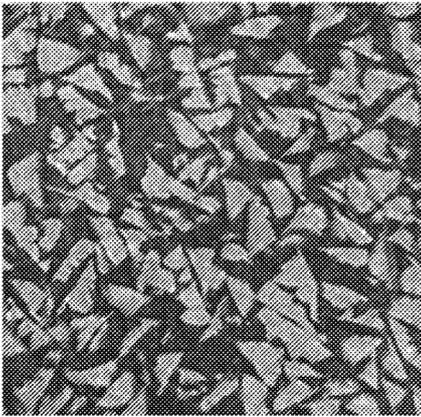


Fig 7A

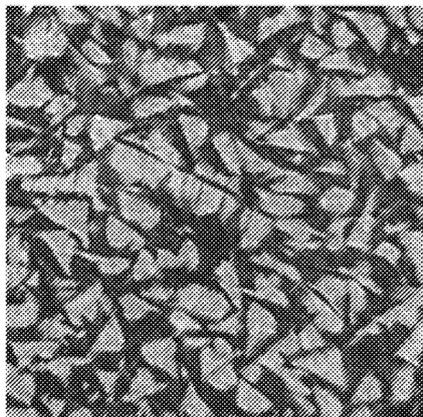


Fig 7B

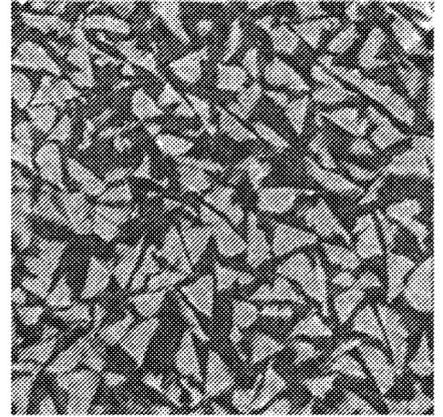


Fig 7C