



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1005196-1 B1

(22) Data do Depósito: 14/12/2010

(45) Data de Concessão: 23/03/2021



* B R P I 1 0 0 5 1 9 6 B 1 *

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA DE POSICIONAMENTO E ALINHAMENTO AUTOMOTIZADOS PARA ESTRUTURAS DE AERONAVE USANDO ROBÔS

(51) Int.Cl.: G05B 19/402; B23P 19/10; B64F 5/00; B25J 9/06; B25J 9/00; (...).

(30) Prioridade Unionista: 12/11/2010 US 12/944,953; 14/12/2009 US 61/286,295.

(73) Titular(es): ITA - INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA; EMBRAER S.A..

(72) Inventor(es): MARCOS LEANDRO SIMONETTI; LUIS GONZAGA TRABASSO.

(57) Resumo: MÉTODO E SISTEMA DE POSICIONAMENTO E ALINHAMENTO AUTOMATIZADOS PARA ESTRUTURAS DE AERONAVE USANDO ROBÔS. A presente invenção apresenta um método e sistema de posicionamento e alinhamento automatizados para estruturas de aeronave usando robôs antropomorfos com seis graus de liberdade para levar as peças de estrutura aéreas durante o posicionamento e alinhamento. As peças e estruturas (se existir alguma) apoiando as peças são tratadas como ferramentas de robô.

**"MÉTODO E SISTEMA DE POSICIONAMENTO E ALINHAMENTO AUTOMATIZADOS
PARA ESTRUTURAS DE AERONAVE USANDO ROBÔS"**

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

Este pedido reivindica o benefício do pedido de
5 patente provisório No. 61/286.295 depositado em 14 de Dezembro de
2009, cuja totalidade está incorporada neste relatório por
referência.

CAMPO

A tecnologia da presente invenção está
10 relacionada à robótica e mais particularmente, a métodos e
sistemas para posicionamento e alinhamento de aeronave e outras
peças entre si, por exemplo, durante a montagem estrutural usando
robôs com braços articulados como meios ou estruturas de
posicionamento.

HISTÓRIO E RESUMO

Uma fuselagem de aeronave pode compreender
diversas peças individuais que precisam ser montadas em conjunto
com cuidado. Ver a Figura 1. Se a aeronave for grande, algumas das
partes de fuselagem serão muito pesadas ou volumosas para serem
20 erguidas e posicionadas por um ou mesmo um grupo de trabalhadores.
Assim, um exemplo de processo manual para posicionar e alinhar as
partes de fuselagem de aeronave consistiu frequentemente e
tradicionalmente em carregamento das partes de fuselagem em
suportes ou um carro. Os suportes ou carros são usados para mover
25 as partes de fuselagem em posição para montagem.

Geralmente, a montagem envolve localizar pontos
de referência ou fiduciais criados ou definidos previamente (por
exemplo, ver orifícios de alinhamento H1 e H2 que são os pontos de
referência na Figura 1A). As partes de fuselagem podem ser movidas
30 usando dispositivos mecânicos ou manuais (ver a Figura 1A) para
uma condição de melhor ajuste de acordo com tolerâncias de
alinhamento desejadas com base em um plano de referência de
ferramenta. Uma vez que as partes de fuselagem são posicionadas
corretamente, elas podem ser unidas através de técnicas de fixação
35 apropriadas como rebitamento.

Ao utilizar processos manuais convencionais, as partes de fuselagem podem ser guiadas, movidas ou posicionadas por meios tais como manivelas manuais ou motores pneumáticos para alinhar, posicionar, unir e assim montar estas partes de fuselagem - ver a Figura 1A. Estes meios (por exemplo, manivelas manuais ou motores pneumáticos) podem ser presos diretamente nas partes de fuselagem ou a certos tipos de suportes como carros que apoiam as partes de fuselagem.

De acordo com um exemplo de processo convencional manual de posicionamento e alinhamento, que é um processo de montagem convencional baseado em gabarito (jig), as submontagens podem ser indexadas a dispositivos rígidos. Um exemplo de um dispositivo rígido é um anel que cerca o perímetro externo de cada parte de fuselagem a uma das suas extremidades, que têm orifícios correspondentes. Para alinhamento de duas partes de fuselagem, os orifícios do primeiro anel podem ser unidos com os orifícios correspondentes de um segundo. Outro exemplo de usar dispositivos rígidos para indexar submontagens é o seguinte: a ponta de um primeiro dispositivo (gabarito) é inserida em um primeiro orifício de alinhamento na primeira parte de fuselagem e a ponta de um segundo dispositivo (gabarito) é inserida em um segundo orifício de alinhamento na segunda parte de fuselagem (por exemplo, a Figura 1A mostra dois orifícios de alinhamento H1 e H2). Neste exemplo, os dois dispositivos são iguais; cada dispositivo apresenta um orifício em sua parte externa; então, para alinhar duas partes de fuselagem, o orifício do primeiro dispositivo pode ser conectado ao orifício do segundo por meio de um pino. Tais dispositivos rígidos são geralmente projetados e construídos para um aspecto específico de geometria de montagem.

Nem toda a montagem de fuselagem é manual. Por exemplo, existem sistemas de posicionamento e alinhamento automatizados convencionais para estruturas de aeronave que usam atuadores mecatrônicos cartesianos para alinhar fuselagens de aeronave (ver a Figura 2). Um método exemplar aplicado por estes sistemas consiste de:

- Carregar a parte de fuselagem em suportes (ou carros);

- 5

 - Dispor a parte de fuselagem (isso é, no suporte) sobre os atuadores mecatrônicos (MA) que moverão tanto o suporte como a parte de fuselagem. A Figura 2 mostra um sistema exemplar que inclui quatro atuadores mecatrônicos MA1-MA4 cartesianos convencionais, uma parte de fuselagem (FP) e um controlador de controle numérico por computador (CNC) convencional que controla os atuadores;
 - 10

 - Medir algumas referências na parte de fuselagem (FP) pelo uso de sistema metrológico (MS) que não é mostrado na Figura 2 (exemplo: medir a forma da curvatura da parte de fuselagem pelo uso de rastreadores de laser ou radar de laser);
 - 15

 - Mover a parte de fuselagem (FP) que usa os atuadores mecatrônicos (MA) cartesianos para uma condição de melhor ajuste de acordo com as tolerâncias de alinhamento para alinhar uma
 - 20

 - parte de fuselagem a outra parte de fuselagem;
 - Depois disso, unir as partes de fuselagem por fixação, rebitemento ou semelhante.
- Alguns detalhes deste processo convencional exemplar são apresentados abaixo:
- 25

 - Uso de sistemas de medida (por exemplo, metrológicos) (MS) específicos para realizar medidas das referências em todas as partes de fuselagem;
 - 30

 - Os dados medidos são analisados por software de análise provido pelo sistema de medida (MS) ou outro.

Tipicamente, o software usado para análise (que é executado, por exemplo, no controle numérico por computador (CNC), controlador lógico programável ou em outro computador) funciona usando desenhos 3D (por exemplo, armazenados em um banco de dados) das partes de fuselagem e as exigências de tolerância geométrica das mesmas. Este software determina a posição das partes que será

movida pelos atuadores mecatrônicos (MA) (nota: algumas partes permanecem paradas e outras são movidas). O software determina suas coordenadas cartesianas $[x, y, z]$ e ângulos de atitude $[R, P, Y]$ antes do alinhamento e também determina qual deve ser a posição destas partes para alcançar o alinhamento correto, isto é, quais as coordenadas cartesianas desejadas $[x', y', z']$ e ângulos de atitude $[R', P', Y']$ que representam o melhor ajuste. O software de análise de medida determina a diferença entre as duas posições para cada parte a ser movida e envia esta informação ao controle numérico por computador (CNC) para controle dos atuadores mecatrônicos (MA) (ver a Figura 2).

Então, os acionadores de posição (atuadores mecatrônicos (MA) cartesianos controlados pelo CNC) movem suavemente as partes em uma forma linear nos eixos X, Y e Z, bem como gira as partes em rolamento, arfagem e guinada (R, P e Y), realizando assim posicionamento e alinhamento usando seis graus de liberdade. Enquanto as operações de posicionamento e de alinhamento estão sendo realizadas, o sistema metrológico (MS) poderia monitorar, seja continuamente ou em uma base passo a passo, a posição e atitude das partes e alimentar esta informação de volta ao software de análise de medida sendo executado no computador.

Em geral, cada acionador de posição é efetivamente uma máquina de três eixos, cujo movimento de precisão é realizado por controle de servomotor com realimentação de resolvido. Para cada parte de fuselagem que está sendo movida existem acionadores de posição que trabalham em uma forma sincronizada com outros acionadores de posição.

Enquanto alguma automatização foi usada no passado, seria desejável usar robótica para prover uma técnica mais automatizada e ainda muito acurada para posicionar a fuselagem de aeronave e outras partes.

Exemplo de tecnologia não limitativa ilustrativa provê processos, sistemas, técnicas e meios de armazenamento para posicionar e alinhar fuselagem de aeronave e outras partes (por exemplo, asas, empenagem, etc.) entre si durante montagem estrutural pelo uso de robôs de seis graus de liberdade (6DOF)

ajudados por sistemas de medida tais como dispositivos ópticos, projeções de laser, rastreadores de laser, GPS interno por rádio ou laser, fotogrametria, ou semelhante. Em um exemplo não limitativo de implementação, um robô 6DOF não apresenta uma
5 ferramenta convencional presa a seu braço como um efetuador, mas preferencialmente uma ferramenta não convencional que compreende um suporte preso ao braço, o suporte que apoia um segmento de fuselagem. A parte de fuselagem levada pelo robô compreende a ferramenta do robô. Pelo uso de sistemas metrológicos não
10 limitativos exemplares, pontos ou estrutura da parte de fuselagem acionada pelo robô são medidas e o sistema estabelece o sistema de coordenada para a parte de fuselagem e estabelece um ponto de centro geométrico (GCP). Este ponto de centro geométrico é então convertido em um ponto de centro de ferramenta (TCP) convencional
15 do robô através de uma função convencional geralmente disponível no controlador de robôs de 6DOF. O GCP convertido em TCP de robô pode ser considerado como um ponto de alinhamento de ferramenta que o robô de 6DOF usa para posicionar e alinhar a parte de fuselagem. Usando um sistema de controle de malha fechada, o robô
20 de 6DOF pode casar o TCP da parte acionada pelo robô e o GPC da parte não acionada pelo robô para alcançar uma condição de melhor ajuste.

Algumas implementações exemplares não limitativas usam um robô antropomórfico.

25 **DESCRIÇÃO BREVE DOS DESENHOS**

Estas e outras características e vantagens serão melhor e mais completamente entendidas ao realizar referência a seguinte descrição detalhada de modalidades ilustrativas não limitativas exemplares em conjunto com os desenhos nos quais:

30 A Figura 1 mostra uma fuselagem de aeronave convencional exemplar que consiste em diversas partes que precisam ser montadas em conjunto;

A Figura 1A mostra um processo manual convencional exemplar para alinhar partes de fuselagem de
35 aeronave;

A Figura 2 mostra atuadores mecatrônicos cartesianos convencionais exemplares para alinhar partes de fuselagem de aeronave;

5 As Figuras 3 e 3-1 mostram sistemas de posicionamento e de alinhamento de braço robótico antropomórfico automatizado não limitativo ilustrativo exemplar para alinhar fuselagem de aeronave e outras partes;

As Figuras 3A, 4A e 4B mostram processos não limitativos exemplares; e

10 A Figura 4 é um TCP de robô não limitativo exemplar.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Em implementações não limitativas ilustrativas exemplares, métodos e sistemas de posicionamento e de alinhamento
15 automatizados para estruturas de aeronave usam robôs antropomórficos com seis graus de liberdade para conduzir partes de estruturas aéreas durante posicionamento e alinhamento. As Figuras 3 e 3-1 mostram tal exemplo de sistema não limitativo. A Figura 3, por exemplo, é uma ilustração conceitual de uma
20 fuselagem de aeronave FP1, FP2 em um posicionamento automatizado e sistema de alinhamento 50 com o robô antropomórfico 100. Como é mostrada na ilustração, a seção de fuselagem frontal FP1 é suportada pelo robô antropomórfico 100.

De acordo com as Figuras 3 e 3-1, a parte de
25 fuselagem FP1 sendo deslocada é disposta em um suporte (por exemplo, um carro) D que, por sua vez, é preso e acoplado por um braço robótico 102 de um robô 100. O braço robótico 102 é controlado automaticamente em 6DOF por um controlador de braço robótico 150 de projeto convencional. O controlador de braço
30 robótico 150 recebe entrada a partir do software de análise 152 (que pode ser executado no mesmo computador ou computador diferente), que, por sua vez, pode receber entrada a partir de um sistema de medida metrológica 156. O software de análise 152 pode acessar dados em um banco de dados 154, e executar etapas
35 controladas por computador para fazer com que o controlador 150 controle o braço robótico 102. De acordo com este sistema não

limitativo ilustrativo exemplar, apenas um robô 100 é necessário para mover cada parte de fuselagem FP1.

No exemplo mostrado, o robô convencional 100 inclui uma base 106 que pode girar para prover, por exemplo, movimento de guinada e também pode ser capaz de transladar. Preso à base 106 está um ombro 108 o qual permite rotação do braço 102 em um grau de liberdade adicional, e juntas articuladas adicionais permitem rotação do braço robótico 102 em um terceiro grau de liberdade. Assim, articulações suficientes do braço 102 permitem que o braço 102 seja girado sobre os três eixos ortogonais, e o braço robótico também é equipado para prover translação em três graus de liberdade. O braço 102 pode então ser controlado automaticamente para mover e posicionar em 6DOF. Nesta implementação exemplar, o braço 102 é usado para apoiar e reter o carro D e/ou a parte de fuselagem FP1, enquanto permite que o braço robótico 102 se mova e posicione precisamente a parte de fuselagem FP1 em 6DOF.

Um processo de posicionamento e de alinhamento automatizado exemplar não limitativo para as partes de fuselagem de aeronave (ou outras partes de estrutura aérea tal como partes de asas, empenagens, carenagens, etc.) consiste em:

- 1) Carregar a parte de fuselagem FP1 em um suporte ou carro que é preso ao braço robótico 102 - ver a Figura 3A (bloco 202);
 - 2) Medir algumas referências nas partes de fuselagem (incluindo a parte "FP1" que está sendo movido pelo robô e parte "FP2" que não está sendo movido pelo robô - ver a Figura 3A (bloco 204)) por um ou mais sistemas metrológicos (exemplo: medir algumas características chave tal como referências geométricas principais de cada parte por radar de laser);
 - 3) Mover a parte de fuselagem FP1 usando o robô antropomórfico 100 para condição de melhor ajuste de acordo com tolerâncias de alinhamento (ver a Figura 3A, bloco 206).
- Depois disso, a união das partes de fuselagem pode ser realizada por fixação ou rebitemento (ver a Figura 3A, bloco 208).

Enquanto as operações de posicionamento e alinhamento estão sendo realizadas, um sistema metrológico pode monitorar, seja continuamente ou em uma base passo a passo, a posição e atitude da parte FP1 conforme mudado pelo robô 100. Tal
5 informação de posição e de atitude é realimentada ao software de análise 152 e/ou controlador de braço robótico 150 para prover controle de realimentação de malha fechada.

A Figura 3-1 mostra duas partes de fuselagem. A parte "FP1" está sendo movida pelo braço robótico 102 e parte
10 "FP2" não está sendo movida pelo braço robótico. Normalmente a parte "FP2" é presa em um suporte que pode ser movido por atuadores mecatrônicos MA cartesianos como discutido previamente. Alternativamente, a parte "FP2" é presa em um suporte tal como um
15 carro D que pode ser movido por meios manuais ou por outro braço robótico 102. É possível posicionar e alinhar automaticamente, mais que duas partes de fuselagem ao mesmo tempo, por exemplo, se mais de um robô estiver disponível.

Em uma implementação não limitativa ilustrativa exemplar, para realizar o processo de posicionar e alinhar existe
20 uma parte de fuselagem (segmento de fuselagem) que é fixado em relação a todos os eixos, exceto o eixo longitudinal - ver a parte de fuselagem "FP2" na Figura 3-1. Então, existe outro segmento de fuselagem que é movido pelo robô 100, em relação a todos os 6 eixos, se necessário. - ver a parte de fuselagem "FP1" na Figura
25 3-1. Então, a parte FP1 é posicionada e alinhada à parte FP2.

Conforme mostrado na Figura 4, quando um robô convencional 100 é usado para um processo de fabricação tal como soldagem, o robô pode usar a extremidade 160 da ferramenta de soldagem 162 como um "ponto de referência de ferramenta" ou ponto
30 de centro de ferramenta (TCP). Neste caso, a ferramenta de soldagem 162 é presa ao braço robótico 102 - ver a Figura 4. O TCP ou "ponto de centro de ferramenta" é normalmente o ponto que o robô 100 precisa para se posicionar durante um determinado processo.

35 Em uma implementação não limitativa ilustrativa exemplar, o robô 100 não apresenta uma ferramenta ordinária (como a ferramenta de soldagem, ferramenta de encaminhamento ou outra

ferramenta) presa a seu braço 102, mas preferencialmente uma ferramenta customizada projetada para se ajustar à geometria da parte de fuselagem FP específica sendo ajustada (ver a Figura 3-1). A ferramenta customizada na implementação exemplar é constituída por um suporte ou berço preso ao braço de robô 102. Neste suporte é disposto um segmento de fuselagem (ou outra parte tal como uma parte de asa) - ver as Figuras 3, 3-1. Um aspecto da implementação não limitativa ilustrativa exemplar é estabelecer um processo que defina o "ponto de referência de ferramenta" ou TCP para o robô 100.

A modalidade não-limitativa ilustrativa exemplar trata da parte de fuselagem levada/carregada pelo robô 100 como o efetuator de extremidade ou ferramenta do robô (ver a Figura 4 em comparação com a Figura 3-1) e assim o ponto de referência de ferramenta (TCP) para o robô. Em uma implementação não limitativa exemplar, o sistema de medida metrológica 156 coleta informação relativa às dimensões e geometria da parte particular FP que o braço robótico 102 está levando, e esta informação em conjunto com informação de especificação conhecida sobre a parte armazenada no banco de dados 154 é usada para determinar as transformações espaciais que o sistema aplica para gerar o ponto de centro de ferramenta robótica que é definida por um ponto na estrutura da parte aérea FP que é significativa com relação à operação de união ou posicionamento específica que está sendo realizada. Em uma implementação não limitativa exemplar é possível que pontos diferentes na estrutura da parte aérea FP sejam usados como ponto de centro de ferramenta de robô para operações de união ou posicionamento diferentes. O controlador de braço robótico altamente acurado 150 pode então ser usado para posicionar precisamente a parte aérea FP com base em um ponto de centro de ferramenta que é definido dentro da, ou com relação a, estrutura da parte aérea.

Em mais detalhes:

Inicialmente, a parte de fuselagem é carregada sobre o robô 100 que pode agarrar, encaixar e/ou apoiar a parte de fuselagem (Figura 4A, bloco 402).

Então, pelo uso de um sistema metrológico convencional 156 (tal como dispositivos ópticos, projeções de laser, rastreador de laser, radar de laser, GPS interno por rádio ou laser e/ou fotogrametria), algumas características chave da parte de fuselagem "FP1" são medidas (Figura 4A, bloco 404). Em uma implementação não limitativa exemplar, o sistema metrológico convencional 156 mede com acurácia que varia de 10^{-2} a 10^{-3} mm.

Características não limitativas exemplares que podem ser medidas pelo sistema metrológico 156 podem incluir, por exemplo: circunferência de fuselagem, galeria de fuselagem, perímetro de fuselagem e/ou outras características geométricas significativas).

Em um exemplo não limitativo, a circunferência de fuselagem é considerada. Então, um conjunto de pontos (por exemplo, variando de 10 a 50 pontos) da circunferência de fuselagem é medido usando o sistema metrológico 156. O procedimento de medida é realizado depois que a parte de fuselagem é carregada no robô 100 de modo a levar em consideração qualquer assentamento estrutural eventual. Assim, o assentamento estrutural é considerado dentro do processo de medida em uma implementação não limitativa exemplar.

A informação geométrica gerada pelo sistema metrológico 156 é analisada pelo software de análise 152 (Figura 4A, bloco 406). Tipicamente este software trabalha com desenhos 3D destas partes de fuselagem e com as exigências de tolerância geométricas armazenadas no banco de dados 154. Então, pelas relações trigonométricas, este software de análise de medida 152 estabelece o sistema de coordenada para esta parte de fuselagem "FP1" e estabelece seu ponto de centro geométrico (GCP). Esta informação é enviada ao controlador de braço de robô 150.

Este GCP que corresponde a um ponto na parte de fuselagem FP2 é então convertido ao ponto de centro de ferramenta (TCP) ordinário por uma função de transformação convencional normalmente disponível no controlador 150 de robôs industriais (Figura 4A, bloco 408), mas que seja tipicamente usado com relação à geometria predeterminada conhecida de uma ferramenta intercambiável (por exemplo, ferramenta de soldagem, ferramenta de

rotação, ferramenta de agarrar, etc.) que é disposto na extremidade de efetuador do braço robótico 102. O GCP convertido em TCP de robô pode ser considerado como um ponto de alinhamento de ferramenta que o robô antropomórfico 100 pode usar para
5 posicionar e alinhar a parte de fuselagem FP1 no processo de montagem - ver a Figura 3, 3-1.

O mesmo sistema metrológico 156 ou diferente também pode medir certas características chave da outra (por exemplo, não em movimento) parte de fuselagem "FP2" (Figura 4A,
10 bloco 410). Em um exemplo não limitativo, a circunferência de fuselagem é medida. O software do sistema metrológico estabelece o sistema de coordenada da parte "FP2" e determina seu ponto de centro geométrico (GCP). O software de análise de geometria 152 também envia esta informação ao controlador de robô 150.

O robô 100 usa o TCP determinado (ponto de centro de ferramenta) da parte de fuselagem "FP1" para estabelecer realimentação de controle, e com base em uma malha fechada, executa posicionamento e alinhando da parte de fuselagem "FP1" TCP
15 para seu ponto correspondente na parte de fuselagem "FP2" (que neste exemplo é o GCP da parte de fuselagem "FP2") para alcançar
20 uma condição de melhor ajuste (Figura 4A, bloco 412).

Depois disso, a união das partes de fuselagem pode ser realizada por fixação ou rebitagem (Figura 4A, bloco 414).

Enquanto as operações de posicionamento e alinhamento estão sendo realizadas, o sistema metrológico 156 tal como mostrado na Figura 3 poderia estar monitorando, seja continuamente ou em uma base passo a passo, a posição e atitude da parte sendo movida pelo robô 100 e alimenta estas informações de
25 volta ao software de análise 152. Por exemplo, se o sistema de medida 156 identifica que um desvio da faixa de tolerância de alinhamento (por exemplo, aproximadamente 0,5 mm em uma implementação exemplar) ocorreu, um sinal é incitado ao operador que pode iniciar uma ação de recuperação.

Alternativamente, a medida das características chave pode ser realizada com base no suporte (carro - D) e na
35 parte de fuselagem FP1. Neste caso, por exemplo, um conjunto de

pontos do suporte D e da parte de fuselagem FP1 é medido usando o sistema metrológico 156. A seguir, o software 152 estabelece o sistema de coordenada para o suporte D e parte de fuselagem FP1 como uma parte única e estabelece seu GCP. O controlador 150 do robô converte este CGP ao ponto de centro de ferramenta (TCP) ordinário que é considerado como um ponto de alinhamento de ferramenta que o robô 100 pode usar para posicionar e alinhar a parte de fuselagem FP1 no processo de montagem. Então, a sequência do processo ocorre como explicado acima usando o TCP do suporte D e a parte de fuselagem FP1 como uma parte única.

Alternativamente ou adicionalmente, em uma implementação exemplar o suporte de fuselagem ou berço pode usar células de carga para medir a força para evitar colisões e introdução de força de tensão nas partes durante movimentos ou durante possível expansão térmica ou outros fenômenos que poderiam produzir mudanças dimensionais. A esta finalidade, é possível instalar células de carga em cada ponto de âncora que fica situado entre a parte de fuselagem e o berço de suporte. Uma vez que isto é realizado, a distribuição de força pode ser monitorada pelo software 152 e, por conseguinte, uma verificação é realizada sobre se a distribuição de tensão é homogênea entre os quatro pontos de âncora. Se a distribuição de tensão não for homogênea, um sinal pode incitar um operador que inicia uma ação de recuperação.

Ademais, alternativamente ou adicionalmente, é possível incluir uma etapa adicional na sequência acima. Por exemplo, seria possível remover o robô 100 sempre que a condição de melhor ajuste foi alcançada. Assim, o robô 100 pode ser removido antes da união das partes de fuselagem FP1, FP2 (que pode ser realizado por fixação ou rebitagem). Assim, o robô 100 poderia ser liberado para executar outro trabalho. Porém, isto pode envolver prover um suporte (no qual as partes de fuselagem são presas) com meios que permitiriam o liberar o robô 100 e ainda manter o alinhamento entre as duas partes. Ademais, um trocador de ferramenta robótica poderia ser usado para libertar a parte de fuselagem do pulso de robô. Esta operação de separação também pode ser executada manualmente. Depois disso, poderia ser realizada união das partes de fuselagem.

Uma implementação não limitativa ilustrativa exemplar adicional pode ser aplicada quando a parte de fuselagem tiver um diâmetro maior. Em tal caso, alguém pode seguir o procedimento como mencionado abaixo. Por exemplo, é possível medir
 5 um conjunto de pontos de uma parte mais rígida que as partes consideradas na configuração prévia que era circunferência de fuselagem ou galeria ou perímetro. Esta "parte mais rígida" pode ser, por exemplo, os trilhos de assento ou outros elementos estruturais localizados dentro do segmento de fuselagem. Estes
 10 pontos são medidos com relação a uma referência fixa localizada no chão ou em outro lugar (Figura 4B, bloco 502).

Para medir um conjunto de pontos na base de robô com relação a uma referência fixa localizada no chão ou em outro lugar (Figura 4B, bloco 504), alguém pode:

- 15 - Carregar a parte de fuselagem no robô 100 (Figura 4B, bloco 506);
- Medir um conjunto de pontos na circunferência de fuselagem. Neste caso, o número de pontos pode ser menor que o procedimento prévio
 20 (quando a parte de fuselagem já estava carregada no robô desde o começo da operação de alinhamento) (Figura 4B, bloco 508);

Então é possível estabelecer as relações trigonométricas entre (ver a Figura 4B, bloco 510):

- 25 • Pontos medidos na circunferência de fuselagem e os pontos medidos nos trilhos de assento;
- Pontos medidos nos trilhos de assento e os pontos medidos da referência fixa no chão;
- Pontos medidos da referência fixa no chão e
 30 pontos medidos na base de robô.

As relações trigonométricas descritas acima conduzem - indiretamente - à relação entre os pontos da circunferência de fuselagem e a base de robô, por exemplo:

- 35 - Para calcular o CGP da circunferência de fuselagem e transformar este CGP em TCP de robô (Figura 4B, bloco 512); e

- Para realizar o procedimento de elevação e de alinhamento entre a parte de fuselagem carregada no robô com a outra parte de fuselagem (Figura 4B, bloco 514).

5 Vantagens não limitativas exemplares para usar o sistema de posicionamento e alinhamento automatizados com robôs antropomórficos são:

- Reduzir acentuadamente o custo de ferramenta e gabaritos;
- 10 • Produza uma junta de montagem mais repetível;
- Aperfeiçoar a concretização de tolerância de junção e assim a qualidade geral do produto;
- Reduzir a quantidade de tempo requerida para o processo de estabelecimento de componente (parte de fuselagem). Esta redução inclui tempo para configuração de ferramenta, posicionamento de componente e economia em repetições de movimento para localizar o componente;
- 15 • Reduzir os esforços de implementação;
- Reduzir os esforços de desenvolvimento de controle e programas;
- O mesmo robô pode ser usado para alinhar outras partes de aeronave e realizar outras operações;
- 20 • O robô pode permanecer ainda sustentando a parte de fuselagem ou pode ser substituído por um dispositivo customizado de acordo com as exigências de processo.

25 Enquanto a tecnologia foi descrita neste relatório com relação a modalidades não limitativas ilustrativas exemplares, a invenção não deve ser limitada pela descrição. A invenção pretende ser definida pelas reivindicações e cobrir todos os arranjos correspondentes e equivalentes seja ou não
35 especificamente descrito neste relatório.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para posicionar e alinhar a fuselagem de aeronave e/ou outras peças aéreas entre si durante a montagem estrutural através do uso de um robô (100), a peça aérea apoiada por um suporte (D), o método compreendendo:

estruturar pelo menos o suporte (D) como a ferramenta do robô (100);

medir um ponto ou mais pontos, no suporte (D) e/ou em uma peça (FP1) apoiada pelo suporte (D);

o método para posicionar e alinhar a fuselagem de aeronave e/ou outras peças aéreas entre si sendo **caracterizado** pelo fato de que compreende, ainda, as seguintes etapas:

em resposta à medição, estabelecer um sistema de coordenadas e um ponto de centro geométrico para o suporte (D) e/ou peça (FP1);

converter o ponto de centro geométrico em um ponto de centro de ferramenta TCP de robô; e

usar o TCP de robô como um ponto de alinhamento de ferramenta para controlar o robô (100) de modo a alinhar automaticamente a peça (FP1), controlando o robô (100) para casar o TCP do suporte (D) e/ou peça (FP1) conduzida pelo robô (100) e um ponto de centro de uma peça adicional (FP2) não conduzida pelo robô (100) para alcançar uma condição de melhor ajuste.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente usar

controle de malha fechada para controlar o robô (100) ou controlar o robô (100) para mover em 6DOF.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente medir metrologicamente a geometria de uma peça estacionária adicional (FP2) e usar controle de malha fechada para controlar o robô (100) para alinhar a peça (FP1) à peça adicional (FP2).

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente medir a geometria do suporte (D) e/ou peça (FP1) usando pelo menos um item selecionado a partir do grupo que consiste em dispositivos ópticos, projeções de laser, rastreadores de laser, GPS interno por rádio ou laser e/ou fotogrametria.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o sistema coordenado é estabelecido para o suporte (D) em conjunto com a peça (FP1) apoiada pelo suporte como uma única parte.

6. Meio de armazenamento não transitório para uso no posicionamento e alinhamento de fuselagem de aeronave e/ou outra peça aérea entre si, durante a montagem estrutural através do uso de um robô (100), **caracterizado** pelo fato de que a peça aérea é apoiada por um suporte (D), pelo menos o suporte (D) sendo estruturado como a ferramenta do robô, o meio de armazenamento armazenando instruções executáveis por computador que realizam o método de uma das reivindicações anteriores.

7. Sistema para posicionar e alinhar a fuselagem de aeronave e/ou outras peças aéreas entre si durante a montagem estrutural, compreendendo:

dito sistema para posicionar e alinhar a fuselagem de aeronave e/ou outras peças aéreas entre si sendo **caracterizado** pelo fato de que compreende, ainda,

um dispositivo de medição (156) que mede um ponto ou mais de um ponto, no suporte (D) e/ou na peça (FP1);

um braço articulado de robô (102) em 6DOF;

um suporte (D) preso ao braço (102) em lugar de uma ferramenta, o suporte sendo estruturado para se acoplar à peça;

um arranjo de computador (150,152) acoplado ao dispositivo de medição (156), o computador (150,152) estabelecendo um sistema de coordenadas e um ponto de centro geométrico para o suporte (D) e/ou peça (FP1) pelo menos em partes em resposta ao ponto, ou pontos, medido e convertendo o TCP de robô;

em que o robô (100) é estruturado para usar o TCP de robô como um ponto de alinhamento de ferramenta de modo a alinhar automaticamente a peça (FP1), controlando o robô (100) para casar o TCP do suporte (D) e/ou peça (FP1) conduzida pelo robô (100) e um ponto de centro de uma peça adicional (FP2) não conduzida pelo robô (100) para alcançar uma condição de melhor ajuste.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o arranjo de computador (150,152) é estruturado adicionalmente para usar controle de malha fechada para controlar o robô (100), ou

em que o dispositivo de medição (156) mede metrologicamente a geometria de uma peça estacionária adicional (FP2) e o arranjo de computador (150,152) é

estruturado adicionalmente para usar controle de malha fechada para controlar o robô (100) para alinhar a peça (FP1) à peça adicional (FP2).

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o dispositivo de medição (156) é selecionado a partir do grupo que consiste em dispositivo óptico, projeção de laser, rastreador de laser, GPS interno por rádio ou laser e/ou fotogrametria.

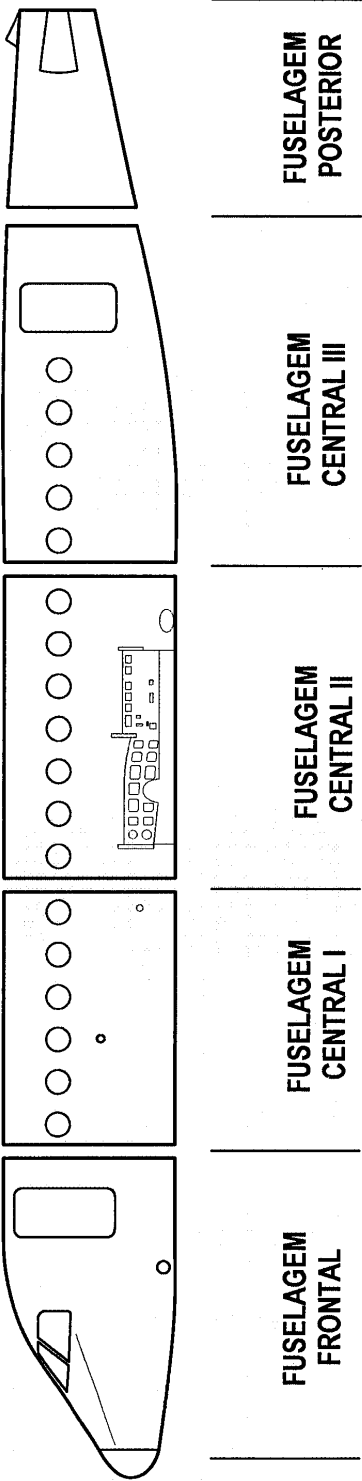


FIGURA 1

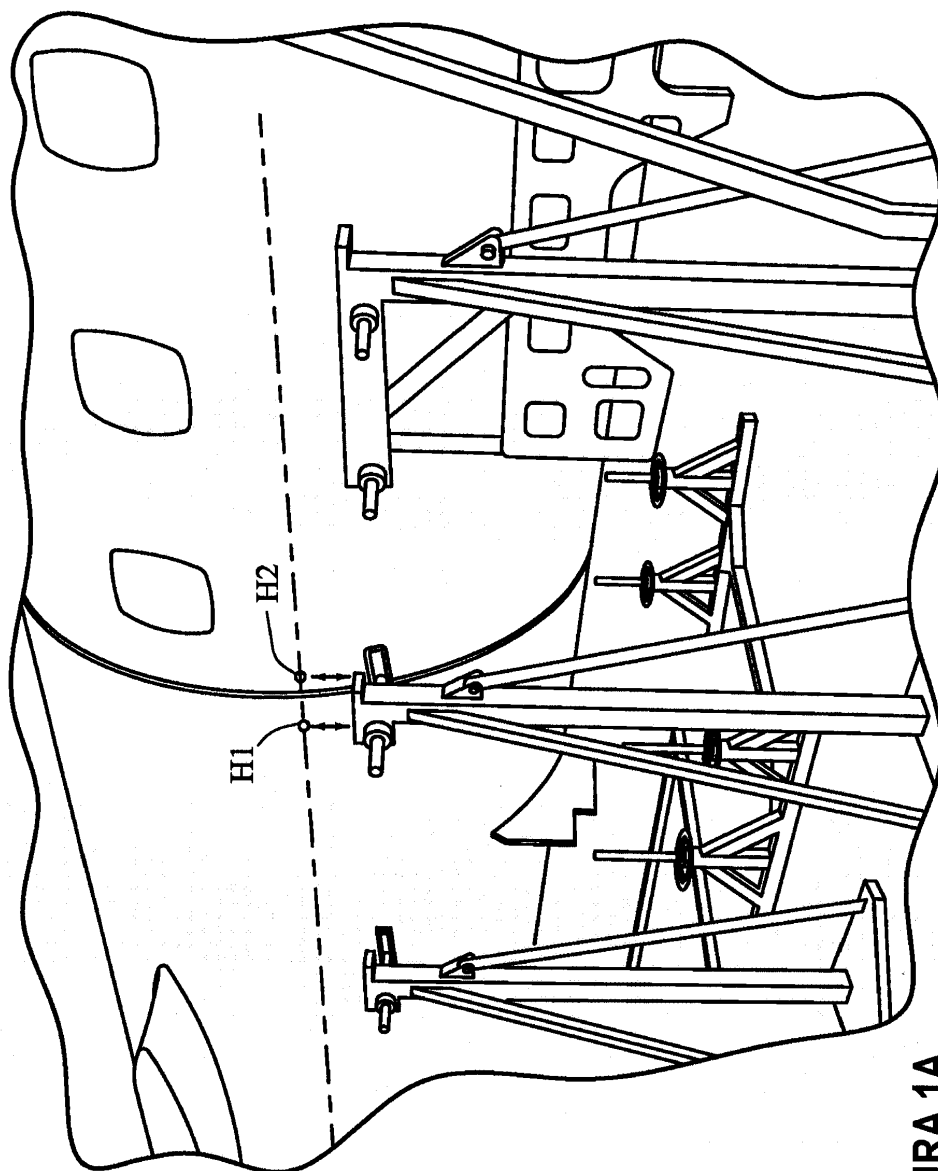
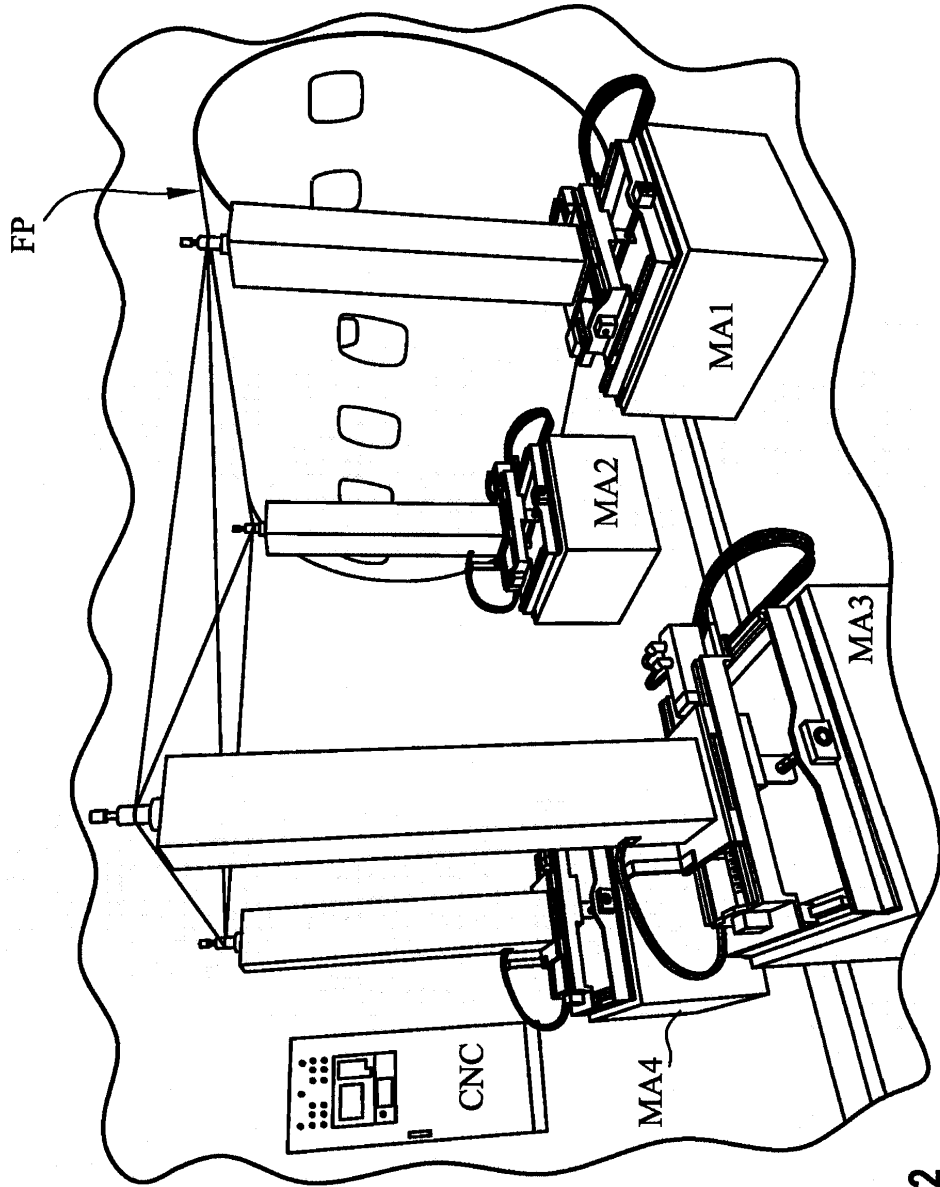
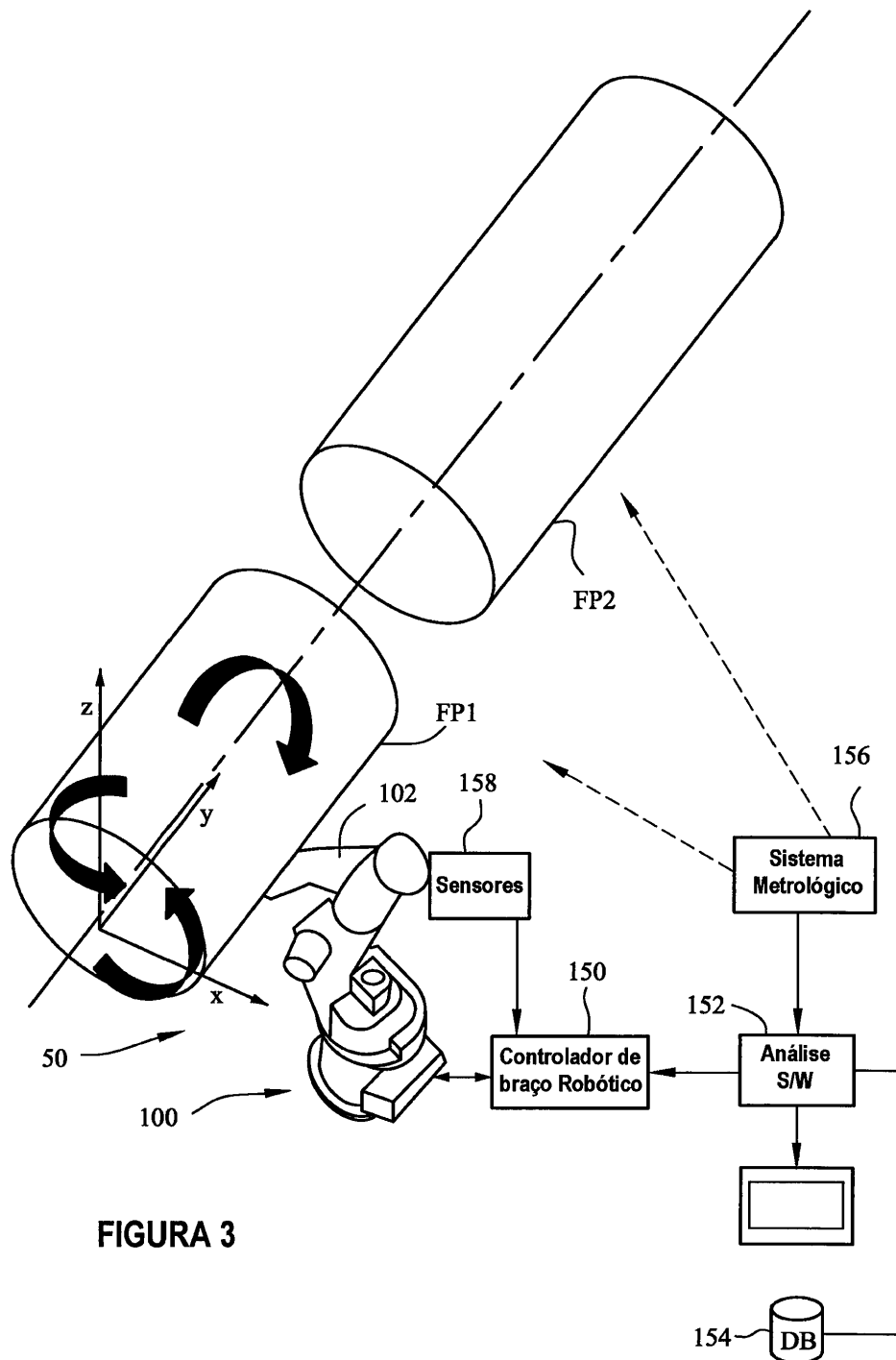
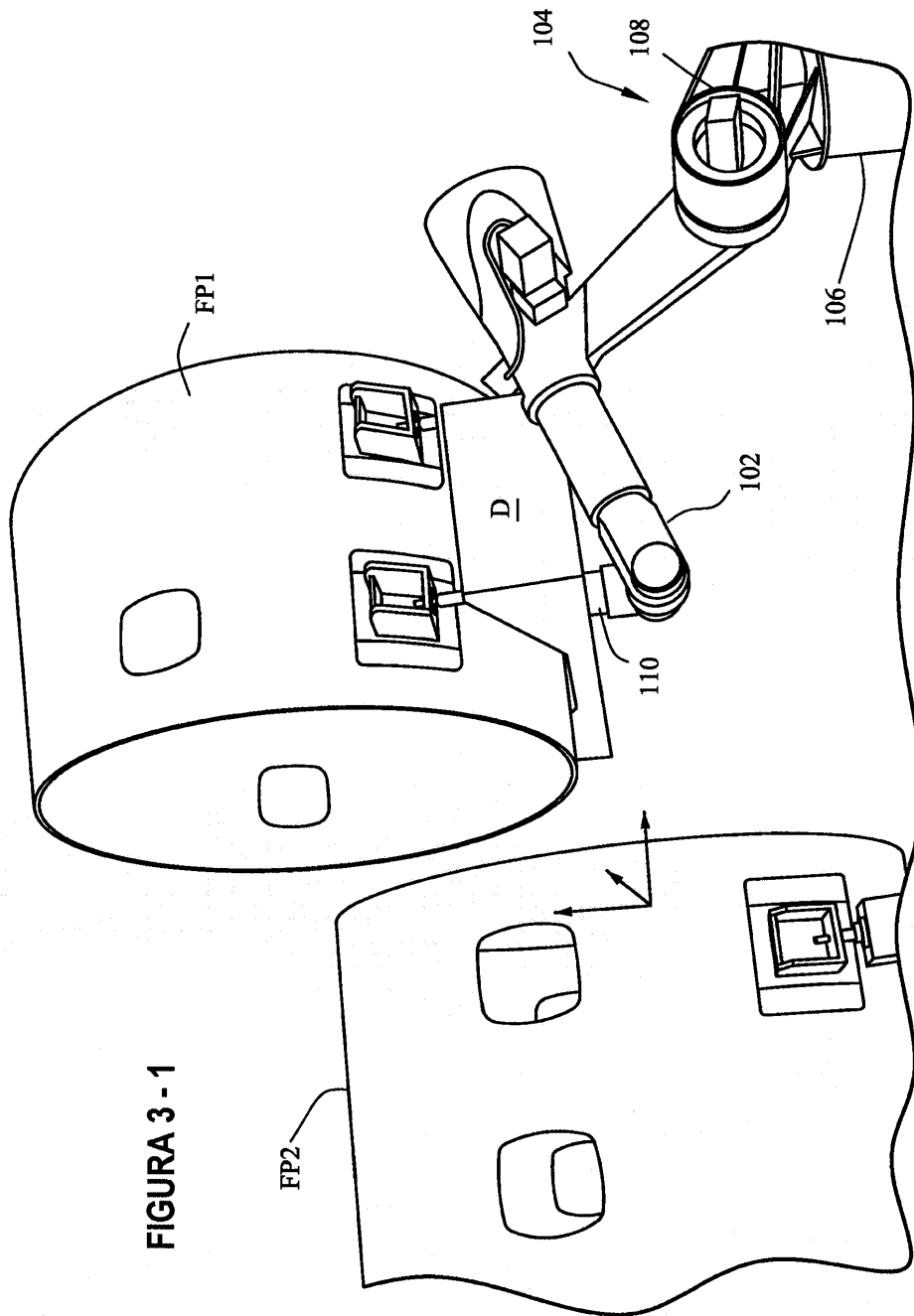
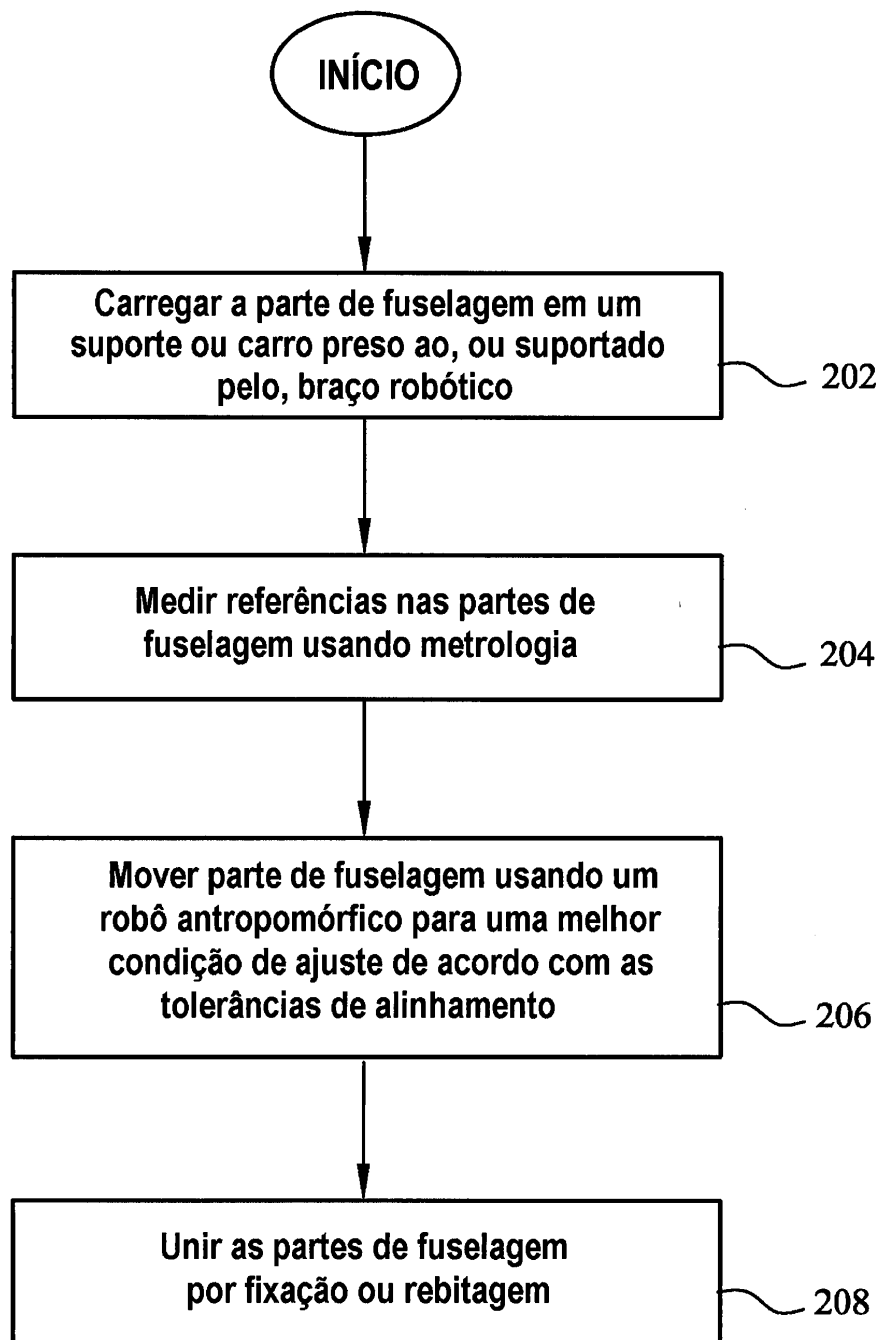


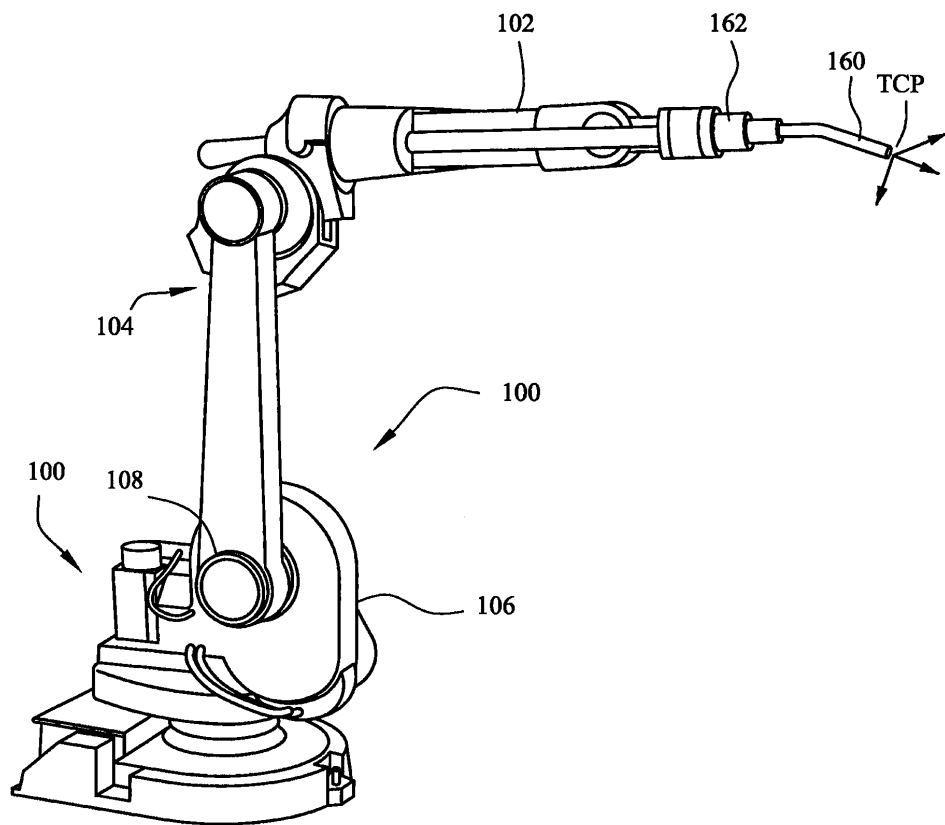
FIGURA 1A

**FIGURA 2**





**FIGURA 3A**

**FIGURA 4**

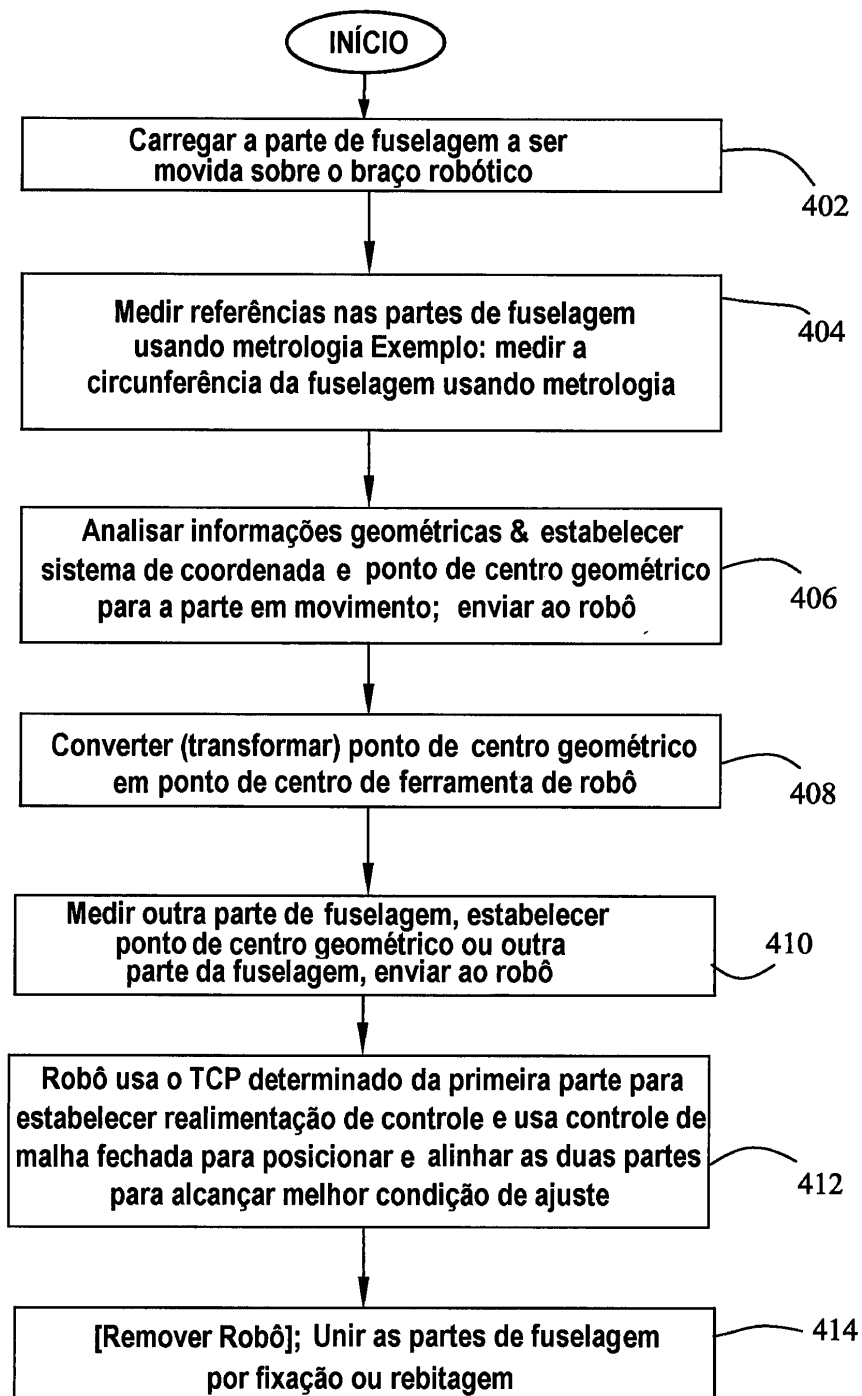


FIGURA 4A

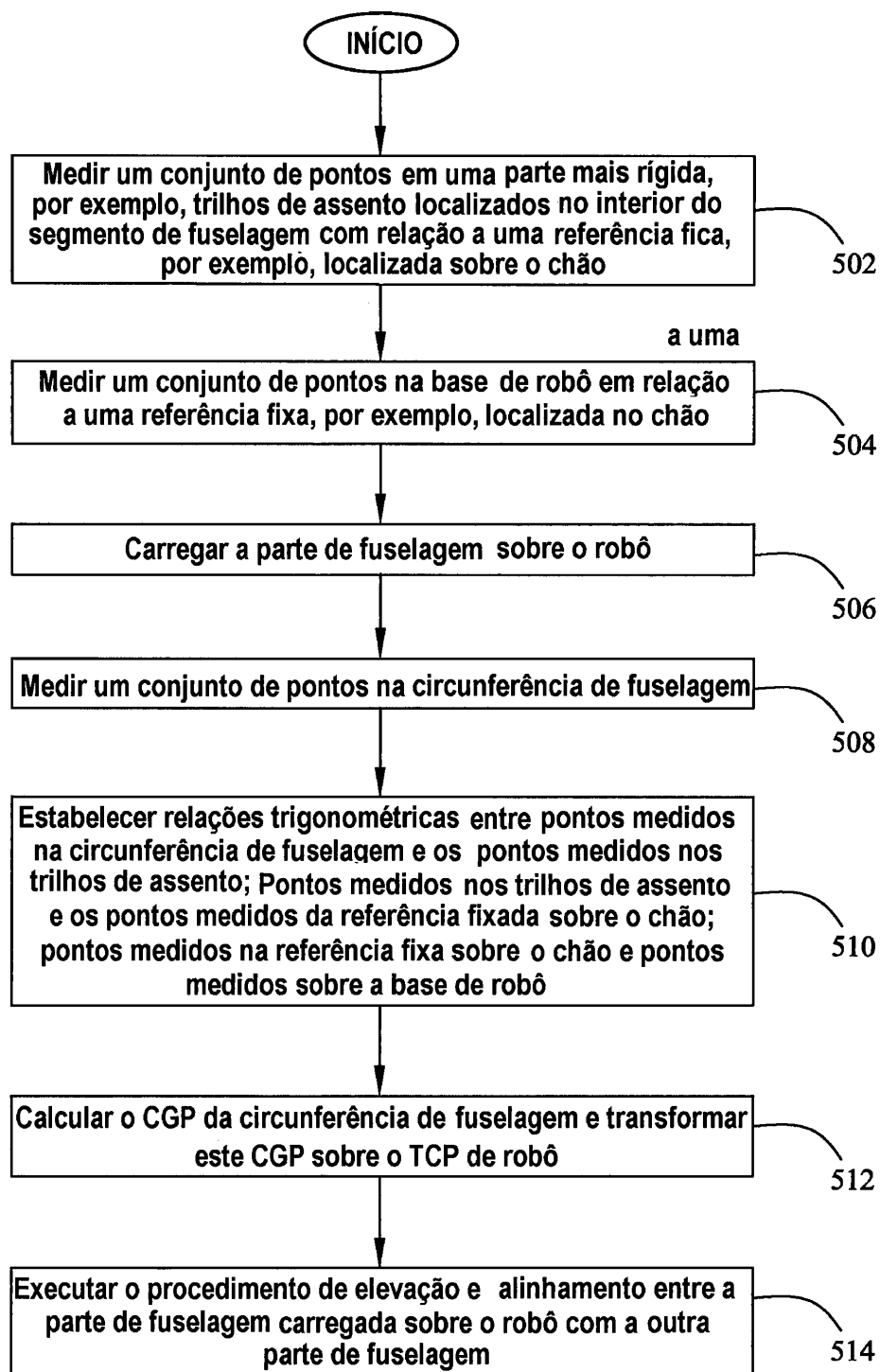


FIGURA 4B