

MODELAGEM CINEMÁTICA E DINÂMICA DE UMA ESTRUTURA PARALELA.

Plínio José Oliveira.

Universidade Federal de Goiás – Campus de Catalão (GO) – Brasil.
Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, nº 1120, CEP: 75701-220, Catalão.
e-mail: plinio127@ibest.com.br

João Carlos Mendes Carvalho¹.

Sezimária F. Pereira Saramago².

Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Mônica
Av. João Naves de Ávila, 2160, CEP: 38408-100 Uberlândia (MG) – Brasil.
jcmendes@mecanica.ufu.br¹ e-mail: saramago@ufu.br²

Resumo: Manipuladores paralelos são de grande interesse principalmente porque apresentam vantagens em varias aplicações: mostram mais resistência, exatidão de posicionamento, capacidade de carga maior que manipuladores seriais e podem ser operados a altas velocidades e acelerações. No Laboratório de Robótica e Mecatrônica em Cassino, Itália, foi criado um mecanismo paralelo moderno com três graus de liberdade, chamado CaPaMan (Cassino Parallel Manipulator). O objetivo principal deste trabalho é descrever analiticamente a cinemática e a dinâmica inversa da estrutura paralela CaPaMan. A partir destas formulações pretende-se nesta pesquisa otimizar as trajetórias do CaPaMan em termos da energia gasta pelos atuadores conectados às pernas do robô.

Palavras-chave: Robótica, Estruturas Paralelas, Modelagem, Otimização.

INTRODUÇÃO.

O CaPaMan é composto de uma plataforma fixa (PF) e uma móvel (PM) as quais são conectadas entre si por três pernas, cada uma das quais fixadas à PF através de um mecanismo articulado de quatro barras, os quais se mantêm sempre na vertical e possuem juntas rotacionais.

Os centros das bases destes mecanismos estão dispostos nos vértices de um triângulo equilátero na PF, de modo que os planos que os contém, formam entre si ângulos de 120°; atribuindo desta forma propriedades de simetria ao manipulador. As barras de ligações (conectoras) entre as pernas dos mecanismos de quatro barras h_i , $i=1, 2, 3$, e a PM são constituídas por duas juntas; uma esférica conectando a extremidade superior da barra à PM nos respectivos H_i e a outra prismática, a qual é fixada no ponto médio e numa posição transversal à biela do mecanismo de quatro barras. Os parâmetros da perna do CaPaMan para $i=1, 2, 3$ Figura 1, são: a_i , bases dos mecanismos de quatro barras, m_i , comprimento das manivelas de entrada, c_i , comprimento das bielas, d_i , comprimento das manivelas de saída, h_i , comprimento das barras conectoras, o raio da PM é dado por r_p , distância do centro P da PM às juntas esféricas H_i , o raio da PF é dado por r_B distância do centro O da PF aos pontos médios O_i das bases a_i , S_i são as coordenadas dos deslocamentos das juntas prismática, os ângulos δ_i , são os ângulos de rotações estruturais entre OX_1 e OX_i bem como entre PH_1 e PH_i , as variáveis cinemáticas são os ângulos de entrada α_i formados entre as bases e as manivelas de entrada dos mecanismos de quatro barras. Para descrever o comportamento cinemático e dinâmico do CaPaMan considera-se dois sistemas. Um sistema inercial OXYZ é fixado à PF, a origem O é o centro da PF e o outro $PX_p Y_p Z_p$ é atado à PM e P é o centro da PM, o eixo X tem a mesma direção

do segmento ligando os pontos O e O₁. O eixo Z é perpendicular ao plano da PF e Y é tomado neste plano de modo a definir um sistema cartesiano. O sistema móvel P_{X_P}Y_PZ_P é fixado de modo que o eixo X_P seja coincidente com a linha unindo os pontos P(x, y, z) e H₁ e o eixo Y_P é colocado sobre a PM de maneira que o sistema móvel seja ortogonal. Como os planos que contém os mecanismos de quatro barras formam entre si ângulos de 120° cada sistema cartesiano de referência O_iX_iY_iZ_i para i=1,2,3 é tomado de maneira que O_i coincida com o centro da base a do mecanismo de quatro barras. O eixo X_i é perpendicular ao plano do mecanismo de quatro barras, o eixo Y_i coincide com a base do mecanismo e Z_i é tomado de modo que o sistema de referência O_iX_iY_iZ_i seja cartesiano. Desse modo cada X_i é girado de 120° em relação ao X_i imediatamente anterior. A orientação do sistema móvel P_{X_P}Y_PZ_P fixo à PM é descrita em relação ao sistema inercial OXYZ pelos ângulos de Euler θ, φ e ψ, onde θ é a rotação em torno do eixo Z, φ é a rotação em torno do eixo Y', rotação que inclina a PM em relação ao sistema inercial e ψ é uma rotação em torno do eixo Z_P.

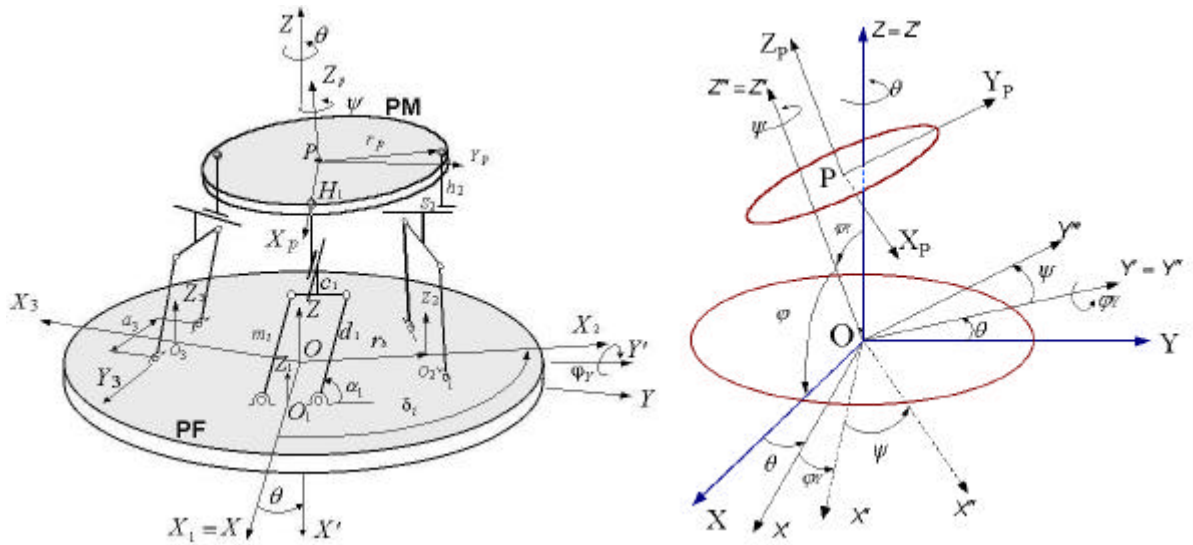


Figura 1 –Parâmetros do CaPaMan.

2. MODELAGEM GEOMÉTRICA.

Utilizando-se as propriedades de simetria do CaPaMan (Carvalho, 2001) obtém-se a posição do ponto P(x,y,z); centro da plataforma móvel e sua orientação θ, φ e ψ, em relação ao sistema fixo OXYZ das equações :

$$x = \frac{y_3 - y_2}{\sqrt{3}} - \frac{r_p}{2}(1 - s j)c(y - q), \quad y = y_1 - r_p(cq sy + sq sj cy) \quad (1)$$

$$z = \frac{1}{3}(z_1 + z_2 + z_3), \quad y = tg^{-1}\left(\sqrt{3} \frac{z_3 - z_2}{2z_1 - z_2 - z_3}\right), \quad q = \text{sen}^{-1}\left[\frac{2(y_1 + y_2 + y_3)}{3r_p(1 + sj)}\right] - y \quad (2)$$

$$j = \cos^{-1}\left(\pm \frac{2}{3r_p} \sqrt{z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 - z_1 z_2 - z_1 z_3 - z_2 z_3}\right), \quad y_i = m_i c a_i, \quad z_i = m_i s a_i + h_i \quad (3)$$

O deslocamento da junta prismática é dado por:

$$S_i = \frac{x}{cd_i} + r_p(R_{11} + tg d_i R_{12}) + y_i tg d_i - r_p \quad (4)$$

onde

$$R = \begin{pmatrix} cqsjcy - sqsy & -cqsj sy - sqcy & cqcj \\ sqsjcy + cqsy & -sqsj sy + sqcy & sqcj \\ -cjcy & cjsy & sj \end{pmatrix}$$

3. CINEMÁTICA DO CAPAMAN.

Como na robótica industrial as unidades de motor são controladas em posição e velocidade, o movimento de entrada pode ser dado por uma função cúbica do tempo t entre os ângulos inicial α_{ii} e final α_{if} nos respectivos tempos t_{ii} e t_{if} por

$$\alpha_i = \alpha_{ii} + \frac{3(\alpha_{if} - \alpha_{ii})}{(t_{if} - t_{ii})^2} t^2 - \frac{2(\alpha_{if} - \alpha_{ii})}{(t_{if} - t_{ii})^3} t^3 \quad (5)$$

A velocidade $\dot{\alpha}_i$ e a aceleração $\ddot{\alpha}_i$ são obtidas derivadas temporais de (5). Assim, as equações (1) a (3), podem ser usadas para simular as operações cinemáticas do CaPaMan quando suas dimensões e parâmetros de movimento são fornecidos.

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{pmatrix} + r_p \begin{pmatrix} -\frac{(1-s\phi)s(\psi-\theta)}{2} & \frac{c\phi c(\psi-\theta)}{2} & \frac{(1-s\phi)s(\psi-\theta)}{2} \\ -(s\phi c\theta c\psi - s\theta s\psi) & -c\phi s\theta c\psi & s\phi s\theta s\psi - c\theta c\psi \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Onde,

$$\dot{y}_i = -m_i \dot{\mathbf{a}}_i s \mathbf{a}_i, \quad \dot{z}_i = m_i \dot{\mathbf{a}}_i c \mathbf{a}_i, \quad \ddot{y}_i = -m_i \ddot{\mathbf{a}}_i s \mathbf{a}_i - m_i \dot{\mathbf{a}}_i^2 c \mathbf{a}_i, \quad \ddot{z}_i = m_i \ddot{\mathbf{a}}_i c \mathbf{a}_i - m_i \dot{\mathbf{a}}_i^2 s \mathbf{a}_i \quad (7)$$

$$\dot{\psi} = \frac{\sqrt{3}}{2V_1} \left[(z_2 - z_3) \dot{z}_1 - (z_1 - z_3) \dot{z}_2 + (z_1 - z_2) \dot{z}_3 \right] \quad (8)$$

$$\dot{j} = \pm \frac{1}{\sqrt{(9r_p^2 - 4V_1)V_1}} \left[(2z_1 - z_2 - z_3) \dot{z}_1 + (-z_1 + 2z_2 - z_3) \dot{z}_2 + (-z_1 - z_2 + 2z_3) \dot{z}_3 \right] \quad (9)$$

$$\text{onde } V_1 = z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 - z_1 z_2 - z_1 z_3 - z_2 z_3,$$

Se $z \geq z_1$ usa-se o sinal $(-)$ em $\dot{j}$, caso contrário usa-se $(+)$, onde z é a terceira componente do ponto P; centro da (PM).

$$\dot{\mathbf{q}} = \frac{2}{(1+s\mathbf{j})\sqrt{V_2}} \left[(1+s\mathbf{j}) \begin{pmatrix} \dot{y}_1 + \dot{y}_2 + \dot{y}_3 \end{pmatrix} - (y_1 + y_2 + y_3) \dot{\mathbf{j}} c\mathbf{j} \right] - \dot{\mathbf{y}} \quad (10)$$

onde $V_2 = 9r_p^2 (1+s\mathbf{j})^2 - 4(y_1 + y_2 + y_3)^2$

$$\begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{z}_1 \\ \ddot{z}_2 \\ \ddot{z}_3 \end{pmatrix} +$$

$$r_p \begin{pmatrix} -\frac{(1-s\varphi)s(\psi-\theta)}{2} & \frac{c\varphi c(\psi-\theta)}{2} & \frac{(1-s\varphi)s(\psi-\theta)}{2} \\ -(s\varphi c\theta c\psi - s\theta s\psi) & -c\varphi s\theta c\psi & s\varphi s\theta s\psi - c\theta c\psi \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\varphi} \\ \ddot{\psi} \end{pmatrix} +$$

$$r_p \begin{pmatrix} \frac{(1-s\varphi)c(\psi-\theta)}{2} & -\frac{s\varphi c(\psi-\theta)}{2} & \frac{(1-s\varphi)c(\psi-\theta)}{2} \\ s\varphi s\theta c\psi - c\theta s\psi & s\varphi s\theta c\psi & s\varphi s\theta c\psi - c\theta s\psi \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta}^2 \\ \dot{\varphi}^2 \\ \dot{\psi}^2 \end{pmatrix} +$$

$$r_p \begin{pmatrix} c\varphi s(\psi-\theta) & -(1-s\varphi)c(\psi-\theta) & -c\varphi s(\psi-\theta) \\ -2c\varphi c\theta c\psi & 2(s\varphi c\theta s\psi + s\theta c\psi) & 2c\varphi s\theta s\psi \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta}\dot{\varphi} \\ \dot{\theta}\dot{\psi} \\ \dot{\varphi}\dot{\psi} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$V_3 = 16V_1^2 + 3(z_2 - z_3)^2 (9r_p^2 - 8V_1)$$

$$V_4 = 16V_1^2 + 3(z_1 - z_3)^2 (9r_p^2 - 8V_1)$$

$$V_5 = 16V_1^2 + 3(z_1 - z_2)^2 (9r_p^2 - 8V_1)$$

$$\ddot{\mathbf{y}} = \frac{\sqrt{3}}{2V_1} \left[(z_2 - z_3) \ddot{z}_1 - (z_1 - z_3) \ddot{z}_2 + (z_1 - z_2) \ddot{z}_3 \right] +$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2V_1^2} \left[-(z_2 - z_3)(2z_1 - z_2 - z_3) \dot{z}_1^2 + \right.$$

$$\left. + (z_1 - z_3)(-z_1 + 2z_2 - z_3) \dot{z}_2^2 - (z_1 - z_2)(-z_1 - z_2 + 2z_3) \dot{z}_3^2 \right] +$$

$$+ \frac{\sqrt{3}}{V_1^2} \left[-(z_1 - z_2)(-z_1 - z_2 + 2z_3) \dot{z}_1 \dot{z}_2 + (z_1 - z_3)(-z_1 + 2z_2 - z_3) \dot{z}_1 \dot{z}_3 - \right.$$

$$\left. - (z_2 - z_3)(2z_1 - z_2 - z_3) \dot{z}_2 \dot{z}_3 \right] \quad (12)$$

$$\ddot{\varphi} = \pm \left\{ \frac{1}{\sqrt{(9r_p^2 - 4V_1)V_1}} \left[(2z_1 - z_2 - z_3)\ddot{z}_1 + (-z_1 + 2z_2 - z_3)\ddot{z}_2 + (-z_1 - z_2 + 2z_3)\ddot{z}_3 \right] + \frac{1}{2\sqrt{(9r_p^2 - 4V_1)V_1^3}} \left(V_3 \dot{z}_1^2 + V_4 \dot{z}_2^2 + V_5 \dot{z}_3^2 \right) + \frac{1}{\sqrt{(9r_p^2 - 4V_1)V_1^3}} \left[(V_5 - 27r_p^2 V_1)\dot{z}_1 \dot{z}_2 + (V_4 - 27r_p^2 V_1)\dot{z}_1 \dot{z}_3 + (V_3 - 27r_p^2 V_1)\dot{z}_2 \dot{z}_3 \right] \right\} \quad (13)$$

se $z \geq z_1$ usa-se o sinal $(-)$ em $\ddot{j}$, caso contrário usa-se $(+)$.

$$\begin{aligned} \ddot{q} = & \frac{2}{\sqrt{V_2}} \left(\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 + \ddot{y}_3 \right) - \frac{2(y_1 + y_2 + y_3)cj}{(1 + sj)\sqrt{V_2}} \left(\ddot{j} \right) + \frac{8(y_1 + y_2 + y_3)}{\sqrt{V_2^3}} \left(\dot{y}_1^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{y}_3^2 \right) + \\ & + \frac{(y_1 + y_2 + y_3)[18r_p^2(1 + sj)c^2j + 2V_2]}{(1 + sj)\sqrt{V_2^3}} \dot{j}^2 + \frac{16(y_1 + y_2 + y_3)}{\sqrt{V_2^3}} \left(\dot{y}_1 \dot{y}_2 + \dot{y}_1 \dot{y}_3 + \dot{y}_2 \dot{y}_3 \right) - \\ & - \frac{36r_p^2(1 + sj)^2cj}{(1 + sj)\sqrt{V_2^3}} \left(\dot{y}_1^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{y}_3^2 \right) \dot{j} - \dot{y} \end{aligned} \quad (14)$$

As componentes do vetor velocidade angular $\mathbf{w}$ podem ser escritas em termos dos ângulos de Euler e suas derivadas temporais, da seguinte forma:

$$\begin{pmatrix} w_x \\ w_y \\ w_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -cjcy & sy & 0 \\ cjcy & cy & 0 \\ sj & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q} \\ \dot{j} \\ \dot{y} \end{pmatrix} \quad (15)$$

Derivando-se as equações em (15), as componentes do vetor aceleração $\dot{\mathbf{w}}$, podem ser escritas como:

$$\begin{pmatrix} \dot{w}_x \\ \dot{w}_y \\ \dot{w}_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cjcy & sy & 0 \\ cjcy & cy & 0 \\ sj & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{q} \\ \ddot{j} \\ \ddot{y} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} sjcy & cjcy & cy \\ -sjcy & cjcy & -sy \\ cj & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q}\dot{j} \\ \dot{q}\dot{y} \\ \dot{j}\dot{y} \end{pmatrix} \quad (16)$$

4. DINÂMICA DO CAPAMAN.

Para simplificar o modelo matemático, os efeitos de elasticidade dos parâmetros, amortecimento viscoso nas juntas, a inércia e massa das pernas são desprezados. Mais precisamente; a massa da plataforma móvel é preponderante no protótipo construído da Figura 1. A simplificação na análise dinâmica consiste em negligenciar a inércia das pernas em comparação com a inércia da plataforma móvel. Isto foi necessário para deduzir a formulação proposta numa forma analítica para Dinâmica Inversa.

As equações de Newton-Euler para o CaPaMan podem ser formuladas considerando todos os parâmetros como corpos rígidos. A posição, a velocidade e a aceleração da plataforma móvel são dadas pelas equações (1) a (16).

Na formulação presente, os três mecanismos quatro barras são paralelogramos articulados com $a_i = c_i$ e $m_i = d_i$. Considera-se também $r_B = r_P$.

Deste modo, o equilíbrio dinâmico para a (PM) é representado pelas equações de Newton Euler na forma:

$$\mathbf{F} + \mathbf{F}_{\text{ext}} + \mathbf{G} = \mathbf{F}_{\text{in}}, \quad \mathbf{N} + \mathbf{N}_{\text{ext}} = \mathbf{N}_{\text{in}} \quad (17)$$

$\mathbf{F}_{\text{ext}}$ é a força externa; $\mathbf{N}_{\text{ext}}$ é o torque externo; $\mathbf{G}$ é o peso da plataforma móvel; $\mathbf{F}$ é a soma das forças de reação $\mathbf{F}_i$ ($i=1, 2, 3$) nos pontos H_i da (PM); $\mathbf{N}$ é o torque resultante em relação ao sistema de referência OXYZ fixo na base (PF).

Além disso, devemos considerar as expressões:

$$\mathbf{F}_{\text{in}} = M \mathbf{a}_P, \quad \mathbf{N}_{\text{in}} = I \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{u} \times I \mathbf{u}, \quad \mathbf{F} = \sum_{k=1}^3 \mathbf{F}_k, \quad \mathbf{N} = \sum_{k=1}^3 (\mathbf{r}_P \times \mathbf{u}_{Pk}) \times \mathbf{F}_k \quad (18)$$

Onde M é a massa da (PM); $\mathbf{a}_P$ é a aceleração do ponto central P ; $\dot{\mathbf{u}}$ e $\mathbf{u}$ são a aceleração angular e velocidade angular respectivamente e I é a matriz de inércia da plataforma móvel. A matriz de inércia I pode ser determinada por:

$$I = R I_c R^t \quad (19)$$

Onde R é a matriz de rotação, R^t é a sua transposta e I_c é a matriz de inércia da (PM) com respeito ao centro de massa.

Quando o atrito nas juntas é desprezado, e consideram-se somente as forças aplicadas aos pontos articulados H_i pela barras conectoras h_i , as quais estão contidas em planos paralelos aos respectivos planos dos paralelogramos articulados, então estas forças nas juntas têm somente as componentes F_{iy} e F_{iz} para $i=1, 2, 3$. As componentes da força resultante $\mathbf{F}$ e torque $\mathbf{N}$, dados respectivamente pelas equações (18), são descritas por):

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ N_x \\ N_y \\ N_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} F_{2y} + \frac{\sqrt{3}}{2} F_{3y} \\ F_{1y} - \frac{1}{2} F_{2y} - \frac{1}{2} F_{3y} \\ F_{1z} + \frac{1}{2} F_{2z} + \frac{1}{2} F_{3z} \\ -u_{1z} F_{1y} + \frac{1}{2} u_{2z} F_{2y} + \frac{1}{2} u_{3z} F_{3y} + u_{1y} F_{1z} + u_{2y} F_{2z} + u_{3y} F_{3z} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} u_{2z} F_{2y} + \frac{\sqrt{3}}{2} u_{3z} F_{3y} + -u_{1x} F_{1z} - u_{2x} F_{2z} - u_{3x} F_{3z} \\ \frac{1}{2} (\sqrt{3} u_{2y} - u_{2x}) F_{2y} - \frac{1}{2} (\sqrt{3} u_{3y} + u_{3x}) F_{3y} + u_{1x} F_{1y} \end{pmatrix} \quad (20)$$

onde

$$\begin{pmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ u_{iz} \end{pmatrix} = r_p R \begin{pmatrix} c\delta_i \\ s\delta_i \\ 0 \end{pmatrix} \quad i=1, 2, 3 \quad (21)$$

As equações de (17) a (21) pode ser resolvida numa forma analítica para produzir as componentes de força F_{iy} e F_{iz} expressas pela equação matricial:

$$\begin{pmatrix} F_{1y} \\ F_{2y} \\ F_{3y} \\ N_{1z} \\ N_{2z} \\ N_{3z} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} + B \begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{pmatrix} \quad (22)$$

Onde as matrizes A e B apresentadas em Carvalho e Ceccarelli (2001), dependem dos u_x , u_y , u_{iz} com $i=1,2,3$.

Os torques de entrada na manivela de cada mecanismo articulado de quatro barras; τ_i $i = 1, 2, 3$; podem ser obtidos do equilíbrio dinâmico das pernas, através das seguintes expressões:

$$\tau_i = F_{iz} \left(m_i c\alpha_i + \frac{c_i}{2} \right) - F_{iy} (m_i s\alpha_i + h_i) \quad (23)$$

5. CONCLUSÃO.

A modelagem cinemática é obtida derivando-se a equação da trajetória em relação ao tempo. Neste trabalho é apresentado um modelo analítico para a dinâmica inversa do CaPaMan, utilizando as equações de Newton-Euler. A cadeia cinemática peculiar e as propriedades de simetria da arquitetura do CaPaMan são úteis nesta formulação, que permite calcular os torques de entrada, responsáveis pela obtenção de uma determinada trajetória da plataforma móvel. O trabalho desenvolvido por Saramago e Steffen (1998) descreve a otimização de trajetórias para robôs manipuladores. A idéia, para a continuidade desta pesquisa, é utilizar a metodologia desenvolvida e aplicá-la na estrutura paralela (CaPaMan).

Naturalmente um modelo completo é exigido para aplicações do CaPaMan que requerem uma alta velocidade dos movimentos de entrada, executados pelos atuadores nos mecanismos de quatro barras. Apesar deste fato a formulação proposta é útil para caracterizar a performance dinâmica do CaPaMan através da formulação analítica, visto que isto possibilita simulações numéricas.

6. REFERÊNCIAS.

- Carvalho, J.C.M., Ceccarelli, Marco. ‘ A closed-form formulation for inverse dynamics of a Cassino Parallel Manipulator’ in Multibody Sistem Dynamics 5: 185-210,2001
- Saramago, S.F.P., Steffen Jr, V., 1998, Optimization of the Trajectory Planning of Robot Manipulators. Taking Into-Account the Dynamics of the System, Mechanism And Machine Theory, Elsevier Science. Ltda, v. 33, n. 7, p. 883-894.

7. DIREITOS AUTORAIS.

Os autores são únicos responsáveis por este trabalho.

KINEMATICS AND DYNAMICS MODELING OF A PARALLEL STRUCTURE

Plínio José Oliveira.

Federal University of Goiás – Campus de Catalão (GO) .
Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, nº 1120, CEP: 75701-220, Catalão-Brazil.
e-mail: plinio127@ibest.com.br

João Carlos Mendes Carvalho¹.

Sezimária F. Pereira Saramago².

Federal University of Uberlândia – Campus Santa Mônica
Av. João Naves de Ávila, 2160, CEP: 38408-100 Uberlândia (MG) – Brazil.
jcmendes@mecanica.ufu.br¹ e-mail: saramago@ufu.br²

Abstract: *Parallel manipulators are of great interest to industry, mainly because they present advantages in many applications: more strength, more positioning precision, greater load carrying capacity when compared with serial manipulators, and can be operated at great velocities and accelerations. At the Robotic and Mechatronic Laboratory at Cassino, Italy a parallel mechanism with three degree of freedom, called CaPaMan (Cassino Parallel Manipulator), was developed. The main objective of this work is to describe the kinematics and inverse dynamics of the CaPaMan parallel structure in a closed form. From this formulation this research intends to optimize CaPaMan trajectories in terms of the energy consumed by actuators connected to the robots legs.*

Keywords: *Robotics, Parallel Structures, Modeling, Optimization*