(apresentada em seguida) entre a 1ª e 3ª linha e coluna representam os cossenos diretores dos vetores do efetuador em relação ao sistema fixo inercial e na última coluna estão os valores de posição do efetuador.

$$H_0^n = \begin{bmatrix} \cos(x_n, x_0) & \cos(y_n, x_0) & \cos(z_n, x_0) & x_0 \\ \cos(x_n, y_0) & \cos(y_n, y_0) & \cos(z_n, y_0) & y_0 \\ \cos(x_n, z_0) & \cos(y_n, z_0) & \cos(z_n, z_0) & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Assim, igualam-se as duas equações para obter os componentes de posição da garra em relação à coordenada da base, os quais são x_0, y_0 e z_0.

Com isso, são feitos os seguintes passos:

a. Encontram-se as coordenadas cartesianas de duas variáveis de posição. Em cada variável estão os valores em graus de cada eixo de cada junta do robô. Para isso é utilizado o método DH para fazer essa transformação.

Para encontrar essas coordenadas é necessário utilizar as equações com variáveis simbólicas fornecidas pelo método de DH que foram feitas a partir do Matlab aplicando a função *syms*.

b. Gera-se uma equação tridimensional para a reta que liga esses pontos.

c. Para cada ponto, exceto os dos extremos da linha, realiza-se o procedimento inverso para encontrar os valores em ângulos necessários para cada junta. Isso é feito com a Cinemática Inversa pelo método geométrico.

O principal problema encontrado nesse ponto é a redundância, já que para cada coordenada pode existir pelo menos duas configurações possíveis (*elbow down e up*) para o manipulador, com exceção nas singularidades, em que o braço fica completamente "esticado".

Outro fator limitante que deve ser considerado são as restrições do volume de trabalho do braço, ou seja, é possível ter duas variáveis de posição, mas devido à limitação desse volume, não é possível traçar uma linha reta com o órgão terminal.

Uma forma simples de contornar esse problema é fazer com que o robô atue apenas na posição *elbow down* ou cotovelo para baixo, dessa forma é excluída a redundância.

A determinação dos ângulos das juntas inicia com o do eixo *elbow* ou junta 3 (J3) denominado θ_3 como pode ser visto na figura 7, que representa a vista geométrica lateral do braço.

Já em posse dos valores das coordenadas P_x, P_y e P_z, calculados no passo anterior, os seguintes cálculos são feitos para encontrar o parâmetro θ_3:

$$L = \sqrt{(P_x - 5)^2 + (P_z - 35)^2}$$

Os valores 5 e 35 são as dimensões presentes na estrutura do eixo x e z, respectivamente, porém são excluídas para que a origem da coordenada fique na junta 2 ou *shoulder.*

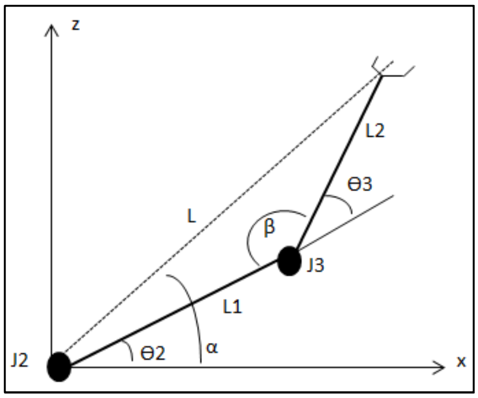

Figura 7 – Vista lateral do braço sem a base

A variável β é calculada com a lei dos cossenos:

$$\beta = cos^{-1}\left(\frac{-L^2 + L_1^2 + L_2^2}{2L_1L_2}\right)$$

Portanto:

$$\theta_3 = \pi - \beta$$

Observação: o motor do eixo 3 atua de 0 a 180 graus, mas geometricamente, θ_3 pode variar de -90 a 90 graus, sendo necessário fazer as devidas conversões no programa. Exemplo: se θ_3 for -90, o sinal que deve ser enviado ao motor é de 0 graus.

O processo é semelhante para encontrar o ângulo referente à junta 2 (θ_2).

$$\alpha = tan^{-1}\left(\frac{P_z - 35}{P_x - 5}\right)$$