

# Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 3

Jorge González Aguilera  
Alan Mario Zuffo  
(Organizadores)



**Jorge González Aguilera**

**Alan Mario Zuffo**

(Organizadores)

# Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 3

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Karine de Lima  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	<p>Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 3)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-474-0 DOI 10.22533/at.ed.740191107</p> <p>1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario</p> <p style="text-align: right;">CDD 509.81</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 3*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 23 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ACURÁCIA TEMÁTICA DE DADOS GEOESPACIAIS CONFORME A ET-CQDG	
Rodrigo Wanderley de Cerqueira Ana Cláudia Bezerra de Albuquerque Borborema de Andrade Alex de Lima Teodoro da Penha Fábio Dayan Soares de Melo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
UM PANORAMA GERAL SOBRE A CALIBRAÇÃO DINÂMICA DE TRANSDUTORES DE PRESSÃO PIZOELETRICOS	
Flávio Roberto Faciolla Theodoro Maria Luisa Colucci da Costa Reis Carlos D'Andrade Souto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>20</b>
ANÁLISE DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS	
Rafaela Pereira Segantim Mara Lúcia Martins Lopes Fábio Roberto Chavarette	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>30</b>
ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO PROTOCOLO DE ROTEAMENTO RIP: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O ASPECTO DE SEGURANÇA NO RIPV2	
Charles Hallan Fernandes dos Santos Lucivânia da Silva Souza Felipe Sampaio Dantas Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>40</b>
ANÁLISES DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO E ESQUEMAS DE PINTURAS EM CHAPAS DE AÇO ASTM A242 E AÇO CARBONO SAE 1020	
Rafaela Vale Matos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>45</b>
APLICAÇÃO DE ESFERAS DE QUITOSANA E ESFERAS DE QUITOSANA MODIFICADA COM NANOPÁRTÍCULA MAGNÉTICA (MAGNETITA) EM ANÁLISE DE ADSORÇÃO PARA O ÍON METÁLICO CROMO (VI)	
Andréa Claudia Oliveira Silva Maria José de Oliveira Pessoa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911076</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>55</b>
AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE ANALISADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA	
Rodrigo Rodrigues Nascimento Zampilis Marcelo Britto Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911077</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>62</b>
AXIOMAS FUNDAMENTAIS EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL PARA O MÉTODO DA IMPEDÂNCIA ELETROMECCÂNICA	
Caio Henrique Rodrigues Guilherme Silva Bergamim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911078</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>75</b>
VISÃO CEGA	
Vitoria Camargo da Silva Erinaldo Sanches Nascimento Fabiana Calisto Trevisan José Roberto Parra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7401911079</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>86</b>
CÉU ACESSÍVEL: APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA O ENSINO DE ASTRONOMIA PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	
Ana Carolina Sampaio Frizzera Danielli Veiga Carneiro Sondermann Athyla Caetano Giovana Dewes Munari Caroline Azevedo Rosa Péricles José Ferreira Ronaldo Leffler Gabriel Barcellos Kretli Lopes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110710</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>97</b>
DETERMINAÇÃO TEÓRICA DO TEMPO DE ACELERAÇÃO EM 30 METROS PARA UM VEÍCULO BAJA SAE A PARTIR DO PRINCÍPIO DO IMPULSO	
Daiane Sampaio Fernandes Mateus Coutinho de Moraes Miguel Ângelo Menezes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110711</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>105</b>
DILATAÇÃO DE VEÍCULOS TANQUE RODOVIÁRIO	
Luciano Bruno Faruolo Edisio Alves de Aguiar Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110712</b>	

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>110</b>
EFEITO DA VARIAÇÃO DO VALOR DA DENSIDADE LATERAL RELACIONADA À SEPARAÇÃO GEOIDE-QUASEGEOIDE NA REGIÃO DE PORTO ALEGRE RS – ESTUDO DE CASO	
Roosevelt De Lara Santos Jr.	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110713</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>118</b>
ELECTROCHEMICAL SENSING OF OH RADICALS AND RADICAL SCAVENGERS BASED ON POLY(METHYLENE BLUE)-MODIFIED ELECTRODE	
Maurício Hilgemann	
Marcelo Barcellos da Rosa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110714</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>131</b>
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICRO GERAÇÃO RESIDENCIAL EM UM AMBIENTE MICRO REDE, CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS	
Luiz Guilherme Piccioni de Almeida	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110715</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>141</b>
EXPRESSÃO GRÁFICA E OFICINAS PEDAGÓGICAS: CONTRIBUIÇÕES PARA A APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA BÁSICA	
Alessandra Assad Angieski	
Heliza Colaço Góes	
Davi Paula da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110716</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>155</b>
LOGÍSTICA DA DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SAÚDE DOS PRINCIPAIS HOSPITAIS DE ARACAJU/SE	
Ana Lúcia Oliveira Filipin	
Cleverton dos Santos	
Izabel Cristina Gomes de Oliveira	
Ana Sophia Oliveira Filipin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110717</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>161</b>
LUNAPPTICO: SOFTWARE DE TECNOLOGIA ASSISTIVA UTILIZADO NA COMUNICAÇÃO DE CRIANÇAS AUTISTAS DO ESTADO DO RN	
Elizeu Sandro da Silva	
Alyson Ricardo De Araújo Barbosa.	
Joêmia Leilane Gomes de Medeiros	
Welliana Benevides Ramalho	
Andrezza Cristina da Silva Barros Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.74019110718</b>	



<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>180</b>
MODELAGEM DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MÓVEL COLABORATIVO PARA DEFICIENTES FÍSICOS Sivoney Pinto Dias Helder Guimarães Aragão <b>DOI 10.22533/at.ed.74019110719</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>194</b>
MODELAGEM E PROGRAMAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DE STEWART Rodolfo Gabriel Pabst Roberto Simoni Maurício de Campos Porath Milton Evangelista de Oliveira Filho Antônio Otaviano Dourado <b>DOI 10.22533/at.ed.74019110720</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>207</b>
SISTEMA DE NOTIFICAÇÕES POR MENSAGENS DE CELULAR PARA MONITORAMENTO EM ATIVOS DE REDE César Eduardo Guarienti Igor Breno Estácio Dutra de Oliveira Thiago H. da C. Silva Raphael de Souza Rosa Gomes <b>DOI 10.22533/at.ed.74019110721</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>213</b>
MONTAGEM DE UM ARRANJO EXPERIMENTAL DIDÁTICO PARA O ESTUDO DA ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA Ernando Silva Ferreira Ricardo Macedo Borges Boaventura Juan Alberto Leyva Cruz <b>DOI 10.22533/at.ed.74019110722</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>225</b>
O NOVO (E ATUAL) SI E O SEU IMPACTO NA METROLOGIA ELÉTRICA NO BRASIL Regis Pinheiro Landim Helio Ricardo Carvalho <b>DOI 10.22533/at.ed.74019110723</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>240</b>

## MODELAGEM E PROGRAMAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DE STEWART

**Rodolfo Gabriel Pabst**

**Roberto Simoni**

**Maurício de Campos Porath**

**Milton Evangelista de Oliveira Filho**

**Antônio Otaviano Dourado**

Universidade Federal de Santa Catarina

Joinville – SC

**RESUMO:** Manipuladores robóticos paralelos caracterizam-se por apresentar elevada capacidade de carga e baixa complacência. A plataforma de Stewart é um dos manipuladores paralelos mais utilizados. Este texto apresenta a modelagem e a programação do sistema de controle de posição de uma plataforma de Stewart, utilizando o *software* de automação em rede TwinCAT 3 e interfaceamento com sistema COM.

**PALAVRAS-CHAVE:** Plataforma de Stewart, Cinemática Inversa, Component Object Model, EtherCAT

### MODELING AND PROGRAMMING OF A STEWART PLATFORM

**ABSTRACT:** Parallel robotic manipulators are characterized by high load capacity and low compliance. The Stewart platform is one of the most commonly used parallel manipulators. This

text presents the modeling and programming of the position control system of a Stewart platform, using the network automation *software* TwinCAT 3 and interfacing with COM system.

**KEYWORDS:** Stewart Platform, Inverse Kinematics, Component Object Model, EtherCAT

### 1 | INTRODUÇÃO

As redes EtherCAT foram introduzidas para aplicações de automação industrial pela Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0. Uma das principais mudanças que ela promove é a quebra de paradigma com as tecnologias de automação industrial vigentes, como os Controladores Lógico-Programáveis (CLP), permitindo a automação baseada em computadores pessoais. Nesta perspectiva, percebe-se a importância da mesma nos estudos e aplicações futuras da área. Sob essa orientação será abordada a modelagem matemática da plataforma de Stewart aplicando abordagens de automação para a mesma.

De acordo com Mello (2011), robôs são corpos rígidos em que pelo menos um grau de liberdade (GDL) pode ser controlado por meio de atuadores mecânicos ou elétricos. Robôs diferem entre si conforme o número de GDLs e conforme suas estruturas. Um robô com seis

GDLs (três de posição e três de orientação) é chamado de manipulador de propósito geral, já que consegue assumir qualquer pose em seu espaço de trabalho. Quando o robô possui menos de seis graus de liberdade é considerado limitado e quando possui mais que isso é considerado redundante.

Manipuladores robóticos podem ser classificados em dois tipos de estruturas, seriais ou paralelas. Conforme Mello (2011), estruturas seriais são formadas por uma sucessão de elos ligados aos seus antecessores e sucessores por juntas rotativas ou prismáticas. Breganon (2014) define uma estrutura paralela como aquela em que há mais de uma cadeia cinemática entre a base e o efetuador final do manipulador. A plataforma de Stewart é uma estrutura paralela de propósito geral. Em St-Onge e Gosselin (2000) é citado que esta estrutura foi proposta pela primeira vez por Gough entre 1956 e 1957, e usada para testar pneus. Entretanto, a plataforma de Stewart se tornou popular com as propostas de Stewart (1965) do uso de estruturas paralelas para simulação de voo.

As estruturas seriais são de fácil modelagem, mas a aplicação e a rigidez destas podem ser comprometidas, porque possuem baixa capacidade de carga. Estruturas paralelas não apresentam esse problema, já que distribuem a carga, sobre o efetuador final, entre suas diversas cadeias cinemáticas. Entretanto, a modelagem de manipuladores paralelos é bastante complexa e em alguns casos proibitiva para abordagens de automação. O uso de manipuladores paralelos é menos comum que o uso de manipuladores seriais em aplicações industriais, o que justifica a escolha do mesmo.

A partir da plataforma de Stewart e do servo-sistema, que já estão elaborados e estabelecidos no Laboratório de Geodésia Industrial (LGI), do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ) na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) com a finalidade de promover o posicionamento de peças em experimentos de montagem assistida, e integrados com o *software* de automação em rede TwinCAT, mantendo uma interface com uma plataforma de *software* do tipo Component Object Model (COM), será realizada a automação do sistema e serão implementados algoritmos para processar a cinemática inversa do manipulador. A construção de tal plataforma foi realizada na UFSC (AMARAL; SIMONI, 2018) e outros estudos relacionados a mesma tem sido realizados no LGI (AMARAL e SIMONI, 2015; PORATH et al., 2016).

## 1.1 MANIPULADORES PARALELOS COMO ALTERNATIVA

Uma das principais diretrizes no desenvolvimento da robótica sempre foi criar sistemas mecânicos capazes de executar tarefas tipicamente humanas. Nessa perspectiva a escolha por cadeias cinemáticas seriais é intuitiva. Essas estruturas são similares aos braços humanos e possuem as mesmas vantagens que eles. Entretanto, possuem as mesmas desvantagens também. Cadeias abertas são caracterizadas por manobralidade ágil e espaços de trabalho volumosos. Porém, essas mesmas possuem

baixa capacidade de carga e tendem a vibrar em alta velocidade quando submetidas à cargas pesadas (DASGUPTA e MRUTHYUNJAYA, 2000).

E necessário considerar ainda outros dois contrapontos quando se trabalha com manipuladores seriais de cadeia aberta: a rigidez e a complacência do robô. Usualmente, um dos atuadores é fixo a base e os demais acoplados as partes móveis, ocasionando um aumento da inércia dessas partes. Cada junta acaba tendo que suportar todas as posteriores, entre a base e o efetuador final. Portanto os elementos do sistema devem ser volumosos e massivos para garantir a rigidez da estrutura (VIANNA, 2002 apud MELLO, 2011). A complacência se refere a modificações na pose do manipulador causadas por folgas em suas juntas, que não podem ser detectadas pela malha de sensoramento. Por esse motivo a complacência também é chamada de complacência passiva (LARA, 2008 apud MELLO, 2011). Em uma cadeia aberta o erro introduzido pela complacência em cada junta é cumulativo.

Conforme St-Onge e Gosselin (2000), mecanismos paralelos podem ser usados em qualquer aplicação onde alta capacidade de carga é necessária e um espaço de trabalho limitado é aceitável. Os autores complementam citando que a aplicação mais comum para mecanismos paralelos é a simulação de voo.

Em 1965, Stewart propôs um manipulador paralelo de propósito geral para simulação de voo, que veio a se popularizar sob o nome plataforma de Stewart. Entretanto, esse manipulador foi proposto originalmente por Gough, entre 1956 e 1957, para testar pneus (ST-ONGE e GOSSELIN, 2000).

## 1.2 A PLATAFORMA DE STEWART

A plataforma de Stewart, também conhecida como plataforma de Gough-Stewart, é um manipulador paralelo de propósito geral. Não há restrições a respeito da natureza dos atuadores ou das malhas de controle e sensoramento.

No modelo proposto por Stewart, o manipulador consistia em uma plataforma triangular suportada por juntas esféricas sobre três pernas de comprimento ajustável e conectada ao chão por juntas de dois eixos. Já o modelo proposto por Gough possuía seis atuadores lineares entre a base e a plataforma móvel (DASGUPTA e MRUTHYUNJAYA, 2000).

Geng et al. (1991) apresentam uma noção geral de plataforma de Stewart. Essa definição não restringe a forma da base ou da plataforma móvel e utiliza seis atuadores lineares (pistões) entre elas. Em adição a isso, os autores fazem quatro asserções quanto ao manipulador:

- A base, a plataforma e os atuadores são corpos rígidos;
- A origem do sistema de coordenadas da plataforma móvel não precisa coincidir com o centro de massa desta;
- Os seis atuadores não são necessariamente idênticos;

- Os pontos de acoplamento entre os atuadores e a plataforma móvel não precisam ser necessariamente coplanares.

Ben-Horin et al. (1998) apud Breganon (2014) classifica as diferentes arquiteturas do manipulador quanto ao número de pontos articulados na plataforma móvel  $m$  e quanto ao número de pontos articulados na base  $n$ . As arquiteturas  $m-n$  mais comuns são as 3-3, 3-6 e 6-6. As duas primeiras também são conhecidas como MSSM (Minimal Symmetric Simplified Manipulator) e TSSM (Triangular Symmetric Simplified Manipulator). A arquitetura 6-6 pode ser composta por base e plataforma móvel hexagonais regulares ou não.

Conforme Breganon (2014), as articulações da plataforma de Stewart podem ter várias configurações, entre as quais as mais comuns são a 6-UPS e a 6-SPS. As letras U (universal), P (prismatic) e S (spheric) referem-se aos tipos das juntas. Apesar de cada atuador poder se mover independentemente, isso deve ser evitado para não causar danos mecânicos aos atuadores (ROSARIO, 2007 apud BREGANON, 2014). Assim, para chegar a uma determinada pose do manipulador, os deslocamentos dos seis atuadores devem ocorrer simultaneamente, sendo convertidos em três movimentos translacionais e três movimentos rotacionais da plataforma móvel.

O número de GDLs do manipulador pode ser calculado pelo critério de Grübler:

$$m = \lambda(n - j - 1) + \sum_{i=1}^j f_i - I_f$$

onde:

- é o número de GDLs do manipulador;
- é o número de GDLs do espaço onde o mecanismo está ( $\lambda = 6$  para o caso espacial);
- é o número de elos fixos do mecanismo, incluindo a base e a plataforma móvel;
- é o número de juntas do mecanismo;
- é o número de graus de movimento relativo por junta;
- é o número de GDLs passivos do mecanismo.

Acuña (2009) destaca que a configuração 6-SPS é redundante ( $\lambda = 12$ ). A diferença entre as duas configurações é que a configuração 6-UPS tem  $\lambda = 6$  GDLs passivos (um para cada junta universal). Os seis GDLs adicionais na configuração 6-SPS refletem na rotação dos atuadores sobre seus próprios eixos.

### 1.2.1 CINEMÁTICA INVERSA

A geometria do manipulador pode ser deduzida a partir de algumas considerações geométricas. São necessários dois sistemas de orientação coordenados, como mostra a Figura 1. O primeiro,  $O_{xyz}$ , é fixado a base e o segundo,  $P_{uvw}$ , à plataforma móvel. A posição relativa entre os sistemas coordenados é dada pelo vetor  $\vec{p} = [x \ y \ z]^t$  (CARDONA, 2015).

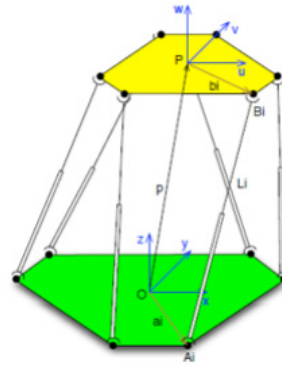


Figura 1: Geometria da plataforma de Stewart (CARDONA, 2015).

A orientação relativa entre os sistemas coordenados é dada pelos ângulos de Kardan  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Esses ângulos representam rotações em torno dos eixos  $O_x$ ,  $O_y$  e  $O_z$  (MELLO, 2011). Podemos representar essas rotações pelas matrizes de transformação  $R_x(\alpha)$ ,  $R_y(\beta)$  e  $R_z(\gamma)$ .

$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha & -s\alpha \\ 0 & s\alpha & c\alpha \end{bmatrix}, \quad R_y(\beta) = \begin{bmatrix} c\beta & 0 & s\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\beta & 0 & c\beta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\gamma) = \begin{bmatrix} c\gamma & -s\gamma & 0 \\ s\gamma & c\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Os símbolos  $c$  e  $s$  representam as funções cosseno e seno, respectivamente. A orientação relativa entre os sistemas coordenados é calculada multiplicando as matrizes de transformação na seguinte ordem:

$$R = R_z(\gamma)R_y(\beta)R_x(\alpha)$$

Os vetores constantes  $\bar{a}_i$  e  $\bar{b}_i$ , na Figura 1, são representados nas coordenadas da base e da plataforma móvel, respectivamente. O vetor  $\bar{L}_i$ , paralelo à direção da  $i$ -ésima perna e com magnitude igual ao comprimento desta, é dado pela equação:

$$\bar{L}_i = R\bar{b}_i + \vec{p} - \bar{a}_i$$

com  $i = 1, 2, \dots, 6$ . Assim, o comprimento  $L_i$  da  $i$ -ésima perna é dado pela norma Euclidiana do vetor  $\bar{L}_i$ .

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais e métodos utilizados para promover a automação da plataforma de Stewart. A plataforma, o servo-sistema e o painel de acionamentos se encontram implementados no Laboratório de Geodésia Industrial da UFSC, como é mostrado na Figura 2. A plataforma possui arquitetura 6-6 e configuração 6-UPS.

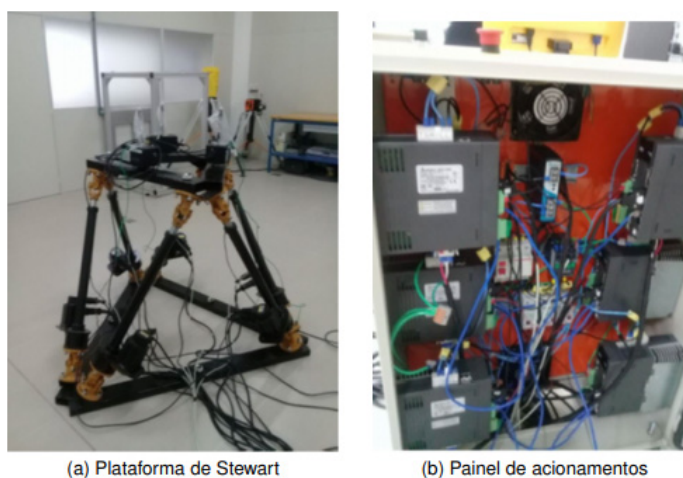


Figura 2: Plataforma e acionamentos (Autores, 2019).

O servo-sistema conta com seis servomotores de corrente alternada sem escovas com capacidade de potencial nominal de 3,18 kW, e *encoders* ópticos incrementais. Os *encoders* indicam os deslocamentos dos atuadores em unidades de pulsos e são sensíveis as posições iniciais dos mesmos. A tecnologia e o sistema de medição, utilizados na operação da plataforma e na identificação de sua geometria, serão discutidos, com mais detalhes, a seguir.

### 2.1 TWINCAT 3

O COM é um padrão de interface binária criada pela Microsoft em 1993 para permitir a integração entre aplicações, independente das linguagens em que estas estão implementadas.

Componentes COM podem ser usados e reutilizados sem conhecimento prévio de sua implementação. A interface exposta pelo objeto é conhecida em tempo de execução por uma função denominada *Query Interface*. Normalmente a interface COM é implementada em MS Windows. Na automação industrial, a tecnologia COM permite a comunicação entre processos ocorrendo em diferentes ambientes. Isto permite a

automação baseada em computadores pessoais.

O projeto em questão faz uso de um *software* de automação industrial baseado em computador pessoal, o TwinCAT 3. O TwinCAT é desenvolvido pela empresa alemã Beckhoff Automation. Ele permite ao usuário acessar diferentes linguagens de programação para implementar aplicações.

Uma das principais requisições atuais em projetos de controle é reduzir a quantidade de esforços de engenharia. Um meio de prover isso é tratando as unidades de controle (e seus conjuntos de funcionalidades) como módulos. Isso facilita o reuso, extensão e a manutenção do código de controle. A arquitetura do TwinCAT 3 foi projetada para atender a esses requisitos.

Uma das principais características do TwinCAT 3 é a integração com ferramentas de desenvolvimento de *software* existentes. Quando usado em conjunto com o Microsoft Visual Studio, o TwinCAT se torna uma extensão do Visual Studio.

O TwinCAT 3 oferece um ambiente de tempo real onde os módulos TwinCAT podem ser carregados, executados e administrados. Os módulos podem ser programados em qualquer linguagem, a única exigência é que sejam compilados pelo mesmo compilador. Eles podem, então, ser chamados ciclicamente por tarefas e outros módulos.

O EtherCAT (Ethernet for Control and Automation Technology) é uma tecnologia Ethernet de tempo real também desenvolvida pela empresa alemã Beckhoff Automation. O foco da tecnologia EtherCAT se mantém sobre sistemas com pequenos ciclos de tempo ( $\leq 100 \mu s$ ), baixo jitter para sincronização ( $\leq 1 \mu s$ ) e baixos custos de hardware.

O gerenciador do sistema TwinCAT, como uma interface de configuração para o ambiente de entrada e saída da aplicação, suporta a configuração e o comissionamento do barramento EtherCAT através de várias ações automáticas. Um dispositivo virtual EtherCAT é alocado como um elemento independente na árvore de configuração do sistema de gerenciamento. E suas propriedades podem ser acessadas por janelas de propriedades associadas no TwinCAT 3.

Utilizando o TwinCAT 3 como extensão do Visual Studio, a interface com o usuário tem a configuração apresentada na Figura 5. A área da interface denominada Solution Explorer mostra o projeto e seus elementos de forma estruturada. Através desta é possível acessar os dispositivos associados ao barramento EtherCAT e verificar os endereços de memória dos CLPs dos servomotores. A janela de propriedades expõe as propriedades de um elemento selecionado.

A janela de edição, na Figura 3 permite a edição dos objetos instanciados no Solution Explorer através de uma determinada linguagem. Neste projeto, esta linguagem é C++. Assim, é nesta que se dá a implementação da função cinemática inversa.



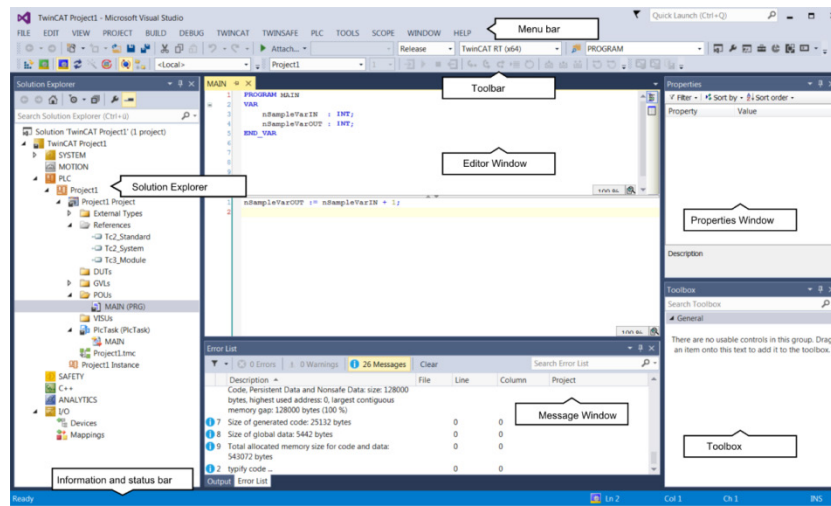


Figura 3: TwinCAT como extensão do Visual Studio (BECKHOFF, 2017).

## 2.2 INDOOR GPS

Um *indoor* GPS ou iGPS é um sistema de localização em um ambiente que utiliza sinais eletromagnéticos, ópticos ou acústicos coletados por dispositivos fixos. Conforme Muelaner et al. (2010) apud Heiden e Porath (2016), um sistema do tipo R-LAT (rotary-laser automatic theodolites) é um iGPS óptico que determina a posição de pontos estratégicos baseado no azimute e em medidas do ângulo de elevação de pelo menos dois sistemas de medição estacionários cuja posição e orientação são conhecidas.

O sistema consiste de três componentes básicos: transmissores, que agem como estações de medição, detectores (ou receptores), e uma PCE (position calculation engine) (HEIDEN e PORATH, 2016). Conforme Nunes et al. (2017), os transmissores emitem sinais ópticos que são captados e processados pelos receptores. O sistema é capaz de determinar, por triangulação, a posição de um receptor quando há linha de visão entre este e pelo menos três transmissores. Havendo três receptores é possível determinar a posição e a orientação de um corpo.

Ao todo, o projeto conta com seis transmissores e três receptores, alocados na parte superior da plataforma de Stewart. Cada transmissor gera um feixe de laser que cobre um ângulo de 30°. A identificação da origem do feixe é baseada na taxa com que o sinal é emitido. Cada transmissor possui uma taxa de propagação ligeiramente diferente. O sistema iGPS utilizado é do modelo iSpace 6i da Nikon Metrology e possui erro máximo de posição da ordem de 0,5 mm.

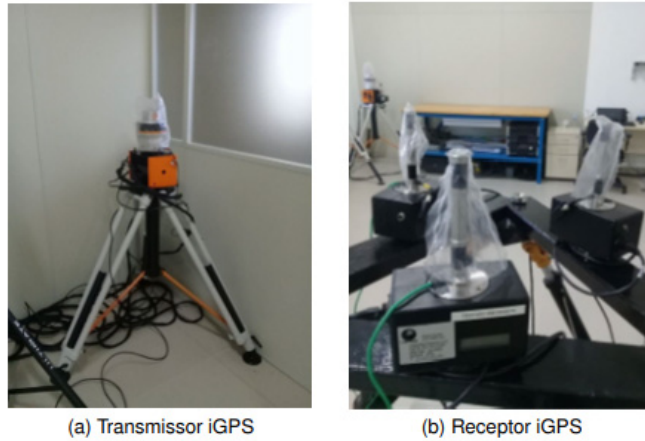


Figura 4: Componentes do iGPS (Autores, 2019).

### 3 | RESULTADOS

Por meio da aplicação das tecnologias descritas foram obtidos: 1) o modelo matemático para o deslocamento das pernas da plataforma; 2) os parâmetros geométricos da plataforma; e 3) uma rotina de comandos utilizando a função cinemática inversa. Estes três resultados serão discutidos nesta seção.

#### 3.1 Modelo Matemático Do Deslocamento Das Pernas

O modelo matemático levantado pela aplicação da função cinemática inversa serve como base para automação do servo-sistema. Para tanto, alguns conceitos foram estabelecidos. A pose *home* é aquela em que o deslocamento de cada atuador é mínimo. O comando de posição  $d_i$  para cada perna e dado com referência à pose *home*. O comprimento da  $i$ -ésima perna na pose *home* será denotado por  $L_{i0}$ .

Pode ser que nem sempre a plataforma seja iniciada na pose *home*. Entretanto a leitura inicial de todos os *encoders* de posição é sempre nula. Para lidar com isso, foi definida uma constante  $k_{i0}$ , cujo valor indica a leitura do *encoder* óptico da perna  $i$  após ser deslocada até a pose *home*.

A unidade de medida das constantes  $k_{i0}$  não é métrica. Ela é dada pelo número de pulsos detectado pelo circuito externo do *encoder* óptico. Portanto, é necessário um fator de conversão. O fator de conversão  $k_{i1}$ , da  $i$ -ésima perna, tem grandeza de número de pulsos por milímetro.

Após calcular o comprimento de cada perna através da função cinemática inversa, podemos fornecer o comando de posição  $d_i$  para o circuito de controle da  $i$ -ésima perna. Isso é possível, visto que foi aplicada uma rotina de inicialização, que forneceu a constante  $k_{i0}$ . Tal lei de comando pode ser expressa da seguinte forma:

$$d_i = k_{i1}(L_i - L_{i0}) + k_{i0}$$

### 3.2 Geometria Da Plataforma

Através das medições feitas com o iGPS foi possível determinar os principais parâmetros da geometria da plataforma. As medidas dos pontos de acoplamento entre a plataforma e os atuadores foram feitas levando em conta sistemas coordenados tal qual especificado na Introdução. Seguem os resultados das medições:

- Base (em milímetros):

$$\bar{a}_1 = [-265,3 \quad -435,9 \quad 67,24]^t$$

$$\bar{a}_2 = [-183,7 \quad -576,4 \quad 69,00]^t$$

$$\bar{a}_3 = [853,3 \quad -595,9 \quad 70,64]^t$$

$$\bar{a}_4 = [934,6 \quad -450,3 \quad 70,92]^t$$

$$\bar{a}_5 = [431,7 \quad 448,8 \quad 72,52]^t$$

$$\bar{a}_6 = [268,5 \quad 450,7 \quad 72,18]^t$$

- Plataforma (em milímetros):

$$\bar{b}_1 = [-44,91 \quad -109,2 \quad -158,4]^t$$

$$\bar{b}_2 = [314,5 \quad -569,8 \quad -158,1]^t$$

$$\bar{b}_3 = [489,5 \quad -543,9 \quad -158,4]^t$$

$$\bar{b}_4 = [712,4 \quad 2,614 \quad -157,8]^t$$

$$\bar{b}_5 = [603,9 \quad 140,5 \quad -158,8]^t$$

$$\bar{b}_6 = [18,08 \quad 51,33 \quad -158,1]^t$$

Na pose *home*, a posição do sistema coordenado da plataforma móvel em relação ao sistema coordenado da base é  $\vec{p} = [27,9 \quad 33,1 \quad 988,5]^t$ . A orientação entre os respectivos sistemas coordenados (em graus) e dada por  $[\alpha \quad \beta \quad \gamma] = [0,30 \quad 0,05 \quad -8,99]$ . Aplicando a função cinemática inversa foram obtidos os comprimentos das pernas na posição *home*:

$$\begin{aligned} & [L_{10} \quad L_{20} \quad L_{30} \quad L_{40} \quad L_{50} \quad L_{60}] \\ & = [876,3 \quad 876,1 \quad 873,4 \quad 871,0 \quad 873,1 \quad 872,5] \end{aligned}$$

Conforme consta na Introdução, as seis pernas não precisam ser necessariamente idênticas. De fato, tal diferença é visível nos fatores de conversão  $k_{i1}$ . Cada um dos valores levantados foi calculado a partir da média de três medições ao longo de uma

série de pontos no espaço das juntas. Seguem os resultados (em unidades de pulsos por milímetros):

$$[k_{11} \quad k_{21} \quad k_{31} \quad k_{41} \quad k_{51} \quad k_{61}]$$

$$= [1566,4 \quad 1571,3 \quad 1566,2 \quad 1618,6 \quad 1567,2 \quad 1570,4]$$

### 3.3 PROGRAMAÇÃO DA PLATAFORMA

A automação da plataforma foi realizada através de uma tarefa periódica realizando a chamada de uma função que atualiza o estado do sistema. O *driver* de cada atuador possui uma série de endereços de memória associados às variáveis de estado, entre as quais podemos citar a posição e a velocidade atuais, o perfil de aceleração e o status do alarme de fim de curso inferior.

O TwinCAT 3 permite operar o servo-sistema em dois modos distintos: posição e velocidade. Para tanto, o servo-sistema é abstraído como uma classe. O modo de operação é determinado durante a execução da função construtora da classe. Para o presente projeto, o modo de operação de velocidade não é de grande utilidade, já que se pretende aplicar a função cinemática inversa a fim de alcançar os limites hábeis do espaço de trabalho.

Alguns procedimentos são comuns a ambos os modos, dentre eles as rotinas que estabelecem o perfil de aceleração e atualizam os registros de controle. A rotina que limpa os alarmes de fim de curso merece atenção especial. O deslocamento do atuador até seu limite inferior é sinalizado por um sensor de fim de curso (que opera como uma chave). Quando a chave é fechada, ocorre uma interrupção de hardware que suspende o deslocamento da perna.

A Figura 5 apresenta, em um fluxograma, a operação do sistema automatizado. A partir de qualquer estado o sistema pode entrar em estado ocioso, entretanto alguns estados e transições foram omitidos nesta representação a fim de simplificá-la.

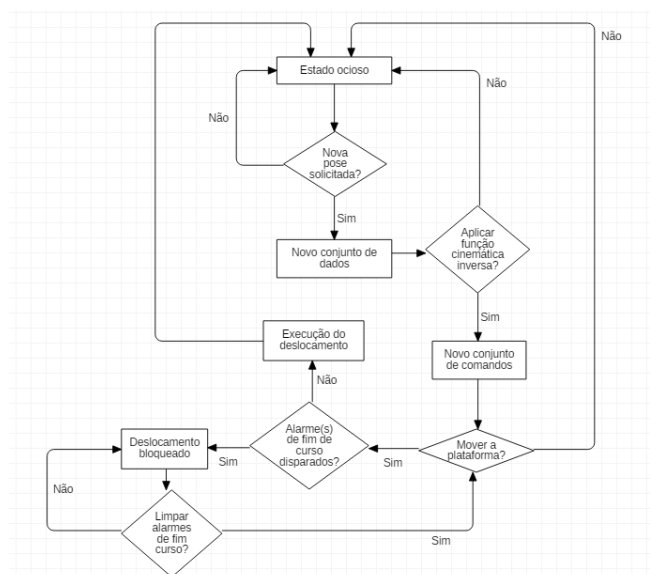


Figura 5: Fluxograma do sistema automatizado (Autores, 2019).

Ao todo, o modo de operação de posição implementado consiste em três rotinas executadas, ou não, conforme o status de três variáveis booleanas. A primeira rotina corresponde à aquisição de dados, em que o usuário fornece a pose desejada para plataforma. A segunda rotina executa a função cinemática inversa calculando o deslocamento que cada perna deve sofrer. A última permite a movimentação da plataforma. Sua existência é apenas por motivos de segurança, já que os limites do espaço de trabalho ainda não são conhecidos.

## 4 | CONCLUSÕES

Através da metodologia aplicada foi possível obter um sistema automatizado baseado em computador pessoal. A aplicação do TwinCAT 3 permite maior flexibilidade para o projeto, sendo que normalmente sistemas robóticos automatizados são encontrados no mercado associados a CLPs com *softwares* autorais. Os dados da geometria da plataforma foram levantados a partir de medições com o iGPS e serão usados no futuro, em conjunto com a função cinemática inversa, para experimentos de montagem assistida no Laboratório de Geodésia Industrial.

## REFERÊNCIAS

- ACUÑA, H.G. **Projeto mecatrônico de uma plataforma Stewart para simulação de movimentos de navios**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.
- AMARAL, J. R; SIMONI, R. **Revisão das aplicações da plataforma de Stewart**. In: II Congresso Nacional das Engenharias da Mobilidade, Joinville, 2015.
- AMARAL, J. R; SIMONI, R. Desenvolvimento de uma plataforma de Stewart para simulação de montagem de blocos de embarcação em laboratório. In: DELAZOANA, K. (Org.). **Políticas públicas e o desenvolvimento da ciência**. 1. ed.: OLIVEIRA, A. C; 2018, v. 1, p. 274-287.
- BREGANON, R. **Análise, desenvolvimento e controle de uma plataforma com movimentos de 6 graus de liberdade**. São Paulo: USP, 2014.
- CARDONA, M. **A new Approach for the Forward Kinematics of General Stewart-Gough Platforms**. In: IEEE Thirty Fifth Central American and Panama Convention (CONCAPAN XXXV), Tegucigalpa (HN), nov. 2015.
- DASGUPTA, B; MRUTHYUNJAYA, T. S. The Stewart platform manipulator: a review. **Mechanism and Machine Theory**, [S. l.], v. 35, [S. n.], p. 15-40, dez. 1998.
- GENG, Z; HAYNES, L. S; LEE, J. D; CARROL, R. L. On the dynamic model and kinematic analysis of a class of Stewart platforms. **Robotics and Autonomous Systems**, [S. l.], v. 9, [S. n.], p. 237-254, 1992.
- HEIDEN, G; PORATH, M. C. Metrological performance of indoor GPS is a simulated measurement assisted assembly process. **Journal of Physics**, [S. l.], v. 733, [S. n.], p. 12-36, 2016.
- MELLO, C. B. **Controle de trajetória de uma plataforma Stewart para simulação de transferência de carga fora do porto**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

NUNES, R. A; PORATH, M. C; SIMONI, R; EGER, J. S. **Calibração e avaliação preliminar dos erros de posicionamento de uma Plataforma de Stewart.** In: 4th International Congress of Mechanical Metrology (IV CIMMEC), Fortaleza, [S. v.], [S. n.], p. 1-6, 2017.

ST-ONGE, B. M; GOSSELIN, C. M. Singularity analysis and representation of a general Gough-Stewart platform. **The International Journal of Robotics Research**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 271-288, mar. 2000.

PORATH, M. C; SIMONI, R; GIOVANONI, A. M; AMARAL, J. R. Field evaluation of a hull block assembly process assisted by advanced 3D measurement systems. In: 26º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 2016, Rio de Janeiro. **Anais...**, 2016.

TWINCAT 3: Getting Started. Disponível em: <[https://download.beckhoff.com/download/document/catalog/TwinCAT 3 Booklet.pdf](https://download.beckhoff.com/download/document/catalog/TwinCAT%203%20Booklet.pdf)> Acessado em 20 junho 2017.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Jorge González Aguilera:** Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: [jorge.aguilera@ufms.br](mailto:jorge.aguilera@ufms.br)

**Alan Mario Zuffo:** Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: [alan\\_zuffo@hotmail.com](mailto:alan_zuffo@hotmail.com)

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-474-0

