

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELETRÔNICA**

**SÉRGIO LUIZ MARTINS JUNIOR**

**ATUALIZAÇÃO E APRIMORAMENTO DE UM SISTEMA  
CONTROLADO POR ROBÔ PARA REALIZAÇÃO DE MEDIDAS  
MAGNÉTICAS**

**Florianópolis, 2019**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELETRÔNICA**

**SÉRGIO LUIZ MARTINS JUNIOR**

**ATUALIZAÇÃO E APRIMORAMENTO DE UM SISTEMA  
CONTROLADO POR ROBÔ PARA REALIZAÇÃO DE MEDIDAS  
MAGNÉTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao Instituto Federal de Educação, Ciência  
e Tecnologia de Santa Catarina como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro de Eletrônica

Orientador:  
Renan Augusto Starke

**Florianópolis, 2019**

Martins Jr., Sérgio L.

Atualização e Aprimoramento de um Sistema Controlado por Robô para Realização de medidas Magnéticas / Sérgio Luiz Martins Junior; Orientador: Renan Augusto Starke – Florianópolis, SC, 2018.

55 p. : il color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Eng. Eletrônica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Braço Robótico. 2. Sensor de triangulação a laser. 3. Sistema sensor-ímã magnético. I. Starke, Renan A. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Atualização e Aprimoramento de um Sistema Controlado por Robô para Realização de medidas Magnéticas.

**ATUALIZAÇÃO E APRIMORAMENTO DE UM SISTEMA  
CONTROLADO POR ROBÔ PARA REALIZAÇÃO DE MEDIDAS  
MAGNÉTICAS**


**SÉRGIO LUIZ MARTINS JUNIOR**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro de Eletrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Engenharia Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Data da defesa: 9 de Julho de 2019.

Banca Examinadora:

  
Renan Augusto Starke, Dr. Eng

  
Daniel Lohmann, Me. Eng.

  
Reginaldo Steinbach, Me.

## RESUMO

Este documento apresenta o trabalho de conclusão de curso realizado na empresa Carinthian Tech Research. Apresenta-se o processo de atualização e aprimoramento de um robô industrial que facilita o desenvolvimento de sistemas compostos por ímãs permanentes e sensores magnéticos. Para melhor compreensão da atualização do sistema é realizado uma revisão dos conceitos de braços robóticos e é apresentado o robô a ser aprimorado. No aprimoramento utilizou-se sensores de triangulação a laser para desenvolvimento de um novo método de aquisição de distâncias no sistema. Por fim os testes realizados para validação dos sistemas propostos são apresentados e discutidos.

**Palavras-chave:** ímã. sensor magnético. braço robótico. sensor de triangulação a laser.

## **ABSTRACT**

This document presents the undergraduate thesis carried out at Carinthian Tech Research. It presents the process of upgrading and improving an industrial robot that facilitates the development of systems composed of permanent magnets and magnetic sensors. A review of the concepts of robotic arms and the actual system is carried out for a better understanding of the update. In the improvement, laser triangulation sensors were used to develop a new method of acquiring distances in the system. Finally, the tests performed to validate the proposed systems are presented and discussed.

**Keywords:** magnets. magnetic sensors. robotic arm. laser triangulation sensors.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Braço articulado. . . . .	12
Figura 2 – Configuração SCARA. . . . .	13
Figura 3 – Braço robótico EPSON - E2C321S. . . . .	14
Figura 4 – Área de cobertura nos eixos XY, visão superior. . . . .	14
Figura 5 – Área de cobertura no eixo Z, visão lateral. . . . .	15
Figura 6 – Suportes para ímãs permanentes e sensores magnéticos. . . . .	16
Figura 7 – Suporte para ímãs paralelepípedicos. . . . .	16
Figura 8 – Interface com operador RAMSRS. . . . .	17
Figura 9 – Diagrama de comunicação RAMSRS. . . . .	18
Figura 10 – Comunicação <i>Master/Slave</i> implementado. . . . .	18
Figura 11 – Sensor de triangulação a laser. . . . .	20
Figura 12 – Diagrama de blocos conceitual do <i>software</i> legado do RAMSRS . . . . .	23
Figura 13 – Diagrama de blocos conceitual do <i>software</i> RAMSRS . . . . .	24
Figura 14 – Diagrama de sequência - Aquisição do Status do Robô . . . . .	25
Figura 15 – Interface para monitoramento e configuração do robô . . . . .	26
Figura 16 – Exemplos de movimentação padronizada . . . . .	27
Figura 17 – Diagrama de sequência de um movimento 3D . . . . .	28
Figura 18 – Resultado da mudança de origem nas posições cartesianas. . . . .	29
Figura 19 – Janela de configuração das coordenadas relativas. . . . .	30
Figura 20 – Limites de movimentação . . . . .	31
Figura 21 – Diagrama de sequência da aquisição de uma medição magnética. . . . .	32
Figura 22 – Diagrama de sequência da interação entre Interface, robô e sensor . . . . .	33
Figura 23 – Gráfico do <i>software</i> desenvolvido para visualização das medidas obtidas. . . . .	34
Figura 24 – Comparação dos fluxos magnéticos para z em 0 mm. . . . .	35
Figura 25 – Comparação dos fluxos magnéticos para z em 1 mm . . . . .	36
Figura 26 – Diferença entre fluxos magnéticos do <i>software</i> novo e legado. . . . .	37
Figura 27 – Diferença entre fluxos magnéticos em dois experimentos utilizando o <i>software</i> legado. . . . .	38
Figura 28 – Fluxograma para busca de posição . . . . .	40
Figura 29 – Conjunto utilizado para medição de distância . . . . .	41
Figura 30 – Diagrama de sequência da aquisição de uma medida . . . . .	42
Figura 31 – Esquema de medição de distância entre íma e sensor. . . . .	43
Figura 32 – Suporte para sensor acoplado ao braço robótico . . . . .	44
Figura 33 – Suporte para sensor de distância acoplado à base. . . . .	44
Figura 34 – Diagrama de sequência de obtenção da altura. . . . .	45

Figura 35 – Resultados experimentos após correção da distância. . . . .	47
Figura 36 – Resultados experimentos com deslocamento de 0,100 mm . . . . .	48
Figura 37 – Resultados experimentos após correção da distância. . . . .	49



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b>	<b>9</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>10</b>
1.2.1	Objetivos específicos	10
<b>2</b>	<b>O ROBÔ - RAMSRS</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>O Braço Robótico</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Conjuntos Ímã-Sensor</b>	<b>15</b>
2.2.1	Suportes	15
<b>2.3</b>	<b>Software de integração</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Medição de distância no RAMSRS</b>	<b>18</b>
2.4.1	Sensor de Triangulação a Laser	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Métodos aplicados</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>ATUALIZAÇÃO DO SOFTWARE DE CONTROLE</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>O módulo do Robô</b>	<b>24</b>
4.1.1	Movimentando o robô	26
4.1.2	Sistema de coordenadas	28
4.1.2.1	Limite de movimentação	30
<b>4.2</b>	<b>Sensor magnético</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Interface de controle</b>	<b>32</b>
4.3.1	Validação do <i>software</i>	34
4.3.2	Busca de posição	39
<b>4.4</b>	<b>Sensor de distância</b>	<b>40</b>
4.4.1	Metodologia de medição de distância	42
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO A – INTERFACE GRÁFICA DESENVOLVIDA PARA O RAMSRS.</b>	<b>54</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido durante estágio na Carinthian Tech Research, empresa austríaca fundada em 1997 com foco em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias na área de micro e nano eletrônica e integração de sistemas inteligentes. O estágio foi realizado no departamento de desenvolvimento de sistemas eletromagnéticos.

No meio industrial atual existe uma corrida pelo desenvolvimento de novas tecnologia envolvendo dispositivos que fazem usos de elementos magnéticos. Estes dispositivos possuem vantagens como capacidade de miniaturização, redução de custos, baixo consumo de energia e robustez à temperatura e sujeira (RIBEIRO, 2015).

O processo de projeto, validação e execução dos novos dispositivos magnéticos pode se tornar demorado e custoso dado que o comportamento prático dos elementos nem sempre condiz com o obtido computacionalmente. Dentro da empresa, para melhorar esse processo se faz uso de um robô capaz de realizar testes programados com precisão inalcançável por seres humanos, chamado *Robot-Aided Magnetic Sensors Readout Suit* (RAMSRS).

No desenvolvimento deste trabalho, Capítulo 2, é realizado uma revisão dos princípios do robô e partes que o constituem. Inicia-se apresentando conceitos do braço robótico utilizado para compreensão dos mecanismos envolvidos em seu movimento. Posteriormente, apresenta-se os suportes e *software* de integração, blocos complementares que compõe o sistema do RAMSRS. Finaliza-se essa capítulo abordando o funcionamento de sensores de triangulação a laser, dispositivo proposto para desenvolvimento do novo método de medição de distância a ser aplicado.

Durante a revisão do RAMSRS identificou-se a possibilidade de atualização do *software* de controle, que permitiu a adição de novas funcionalidades e facilitou a implementação do novo método de aquisição de distâncias. Esse desenvolvimento e sua validação são apresentados e discutidos na Capítulo 4. Por fim, apresenta-se as conclusões obtidas ao decorrer do desenvolvimento deste projeto e algumas sugestões para próximas abordagens.

## 1.1 Justificativa

Dentro do processo de desenvolvimento de novos sistemas magnéticos, o RAMSRS é responsável por realizar uma validação prévia do comportamento esperado do campo magnético a partir de variações na posição relativa de conjuntos compostos por ímãs e sensores.

Constatou-se a possibilidade de aprimoramentos da metodologia de aquisição de distância entre ímã e sensor magnético pelo sistema, a partir da necessidade de agilidade e replicabilidade dos testes.

A metodologia inicial utilizada na aquisição de distância dos sistemas ímã-sensor atendia as exigências do experimento, porém apresentava problemas de replicabilidade e eficiência na execução dos mesmos.

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho visa aprimorar o *Robot-Aided Magnetic Sensors Readout Suit* (RAMSRS) utilizado para integração entre robô-ímã-sensor, refinando a replicabilidade dos testes de comportamento do campo magnético através de variações de posição dos componentes ímã-sensor.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Tem-se como objetivos específicos:

- a) Estudo do RAMSRS e levantamento das limitações do equipamento;
- b) Atualizar o *software* de integração do RAMSRS de forma que a adição de novos recursos seja facilitada;
- c) Validar o *software* atualizado em relação ao *software* legado;
- d) Desenvolver e implementar um novo método de aquisição de medidas de posição;
- e) Validar o novo método de aquisição de distância.

## 2 O ROBÔ - RAMSRS

Entre as diversas definições de robô, existe uma razoável aceitação de que um robô é um manipulador multifuncional e reprogramável desenvolvido para mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos especializados através de uma variedade de movimentos programados para performance de uma variedade de tarefas (MCCLOY; HARRIS, 1986).

Na década de 1960 os robôs somente executavam tarefas industriais simples e de forma repetitiva que exigiam baixa precisão, como transporte de materiais, pintura de grandes áreas e organização de peças em linhas de produção (CRAIG, 2014). Desde então, através de diversos saltos tecnológicos os robôs se desenvolveram de forma a assumir uma grande variedade de tarefas, por exemplo ordenha automatizada, robôs para cirurgias, busca e resgate, aspiradores, brinquedos e robôs educacionais (WINSON, 2015).

Por maior que seja a diversidade de robôs, todos têm em comum o objetivo de compensar limitações humanas (MCCLOY; HARRIS, 1986). O robô do escopo desse trabalho não é diferente, o *Robot-Aided Magnetic Sensors Readout Suit* (RAMSRS) tem como objetivo realizar movimentos e medições em pequenas escalas, com movimentos que chegam a resolução de até  $3 \mu m$  (RIBEIRO, 2015).

O RAMSRS é uma ferramenta que se propõe a auxiliar o desenvolvimento de equipamentos que utilizam conjuntos envolvendo ímãs e sensores magnéticos, uma vez que esquemas de posicionamento previamente testados em ambientes de simulação nem sempre se comportam como esperado na prática devido a limitações dos modelos computacionais. Dispositivos que fazem uso dessas tecnologias têm levantado cada vez mais interesse devido ao seu potencial de miniaturização, baixo custo, robustez à sujeira e temperatura, alta resolução e baixo consumo de energia (RIBEIRO, 2015).

Para compreender o RAMSRS como um todo é interessante dividi-lo em três blocos, os conjuntos ímã-sensor responsáveis por realizar as medições magnéticas, o braço robótico que é responsável pelo movimento dos elementos do sistema e por fim o *software* de integração do sistema.

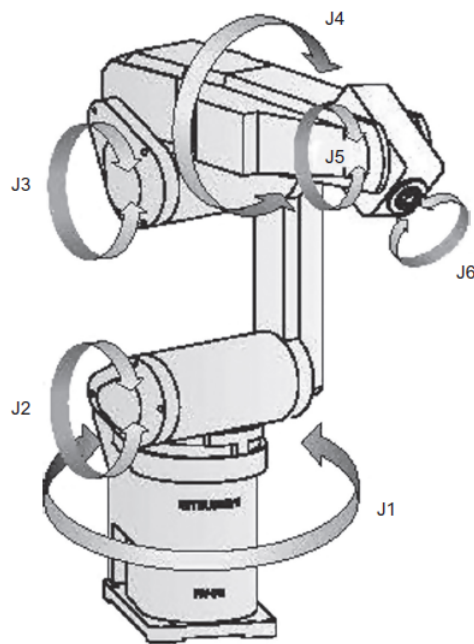
### 2.1 O Braço Robótico

O braço robótico é o responsável por realizar os movimentos dentro do sistema do RAMSRS. Um braço robótico é um manipulador mecânico controlado comumente utilizado em ambientes industriais. Existe uma série de configurações de

robôs industriais, sendo as mais comuns: Articulado, SCARA, Cartesiano, Paralelo (Delta) e Cilíndrico (WINSON, 2015).

Uma característica importante no robôs está relacionada aos eixos de liberdade de movimento. Os eixos de liberdade estão relacionados à quantidade de movimentos que o robô executa e é diretamente dependente da configuração utilizada pelo robô. A Figura 1 contém uma ilustração de um braço articulado que através dos seus seis eixos de movimento propícia seis eixos de liberdade.

Figura 1 – Braço articulado.

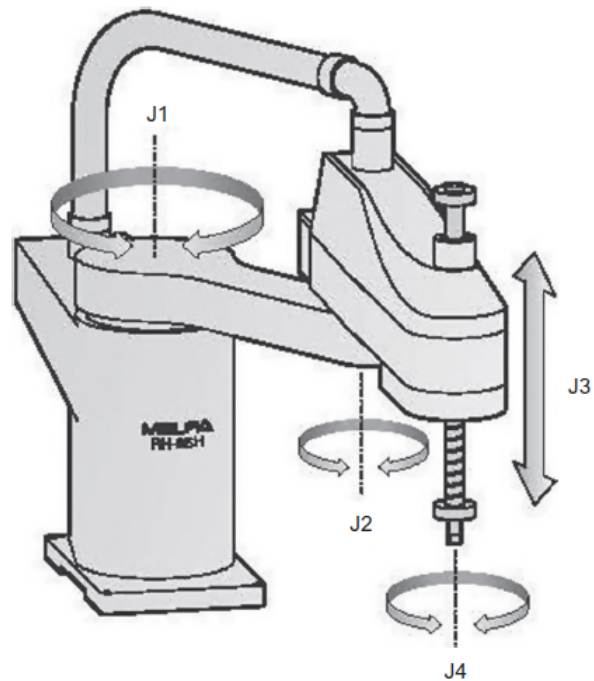


Fonte – Wilson (2015).

No RAMSRS foi utilizado um robô de quatro eixos de liberdade que faz uso da configuração SCARA. Foi originalmente desenvolvido para montagem de peças, daí seu nome *Selective Compliance Assembly Robot Arm*.

Na sua configuração de quatro eixos de liberdade um robô SCARA possui um eixo de rotação para na ponta do manipulador (J4), um eixo de rotação para controle vertical (J3) e dois eixos de rotação que realizam o controle horizontal (J2 e J1), como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Configuração SCARA.



Fonte – Wilson (2015).

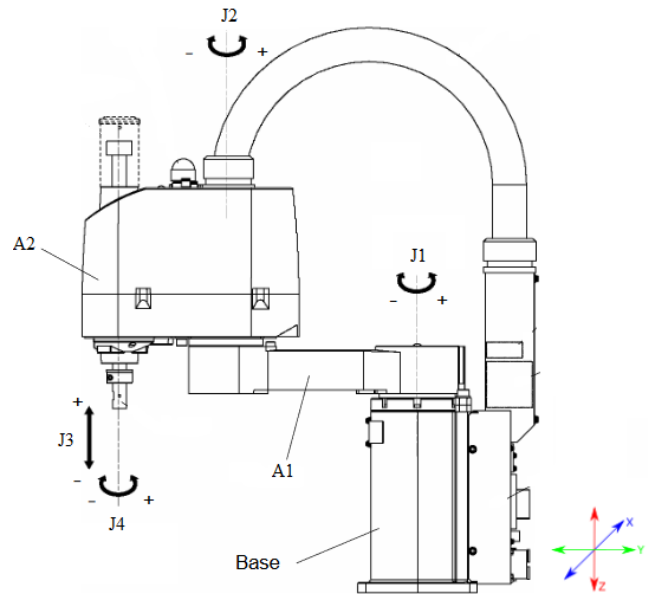
O modelo de braço robótico com configuração SCARA utilizado foi o EPSON - E2C351S (EPSON, 2006). A Figura 3 contém à esquerda uma foto e à direita o esquemático do braço robótico utilizado.

Figura 3 – Braço robótico EPSON - E2C321S.

(a) Foto E2C321S.



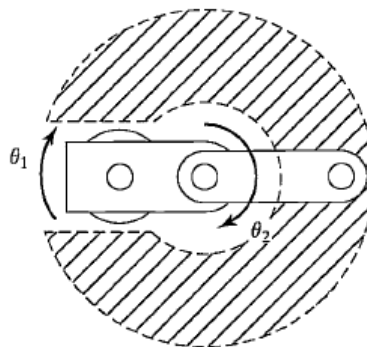
(b) Esquemático E2C321S



Fonte – Adaptado de Ribeiro (2015).

No robô o braço A1 têm 225 mm e o braço A2 têm 125 mm de extensão, através da rotação dos motores nos eixos J1 e J2 é possível realizar o movimento cartesiano nos eixos X e Y. Pode-se ver a área de cobertura do movimento na Figura 4.

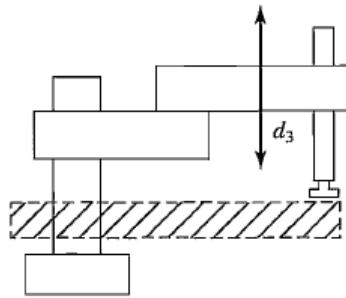
Figura 4 – Área de cobertura nos eixos XY, visão superior.



Fonte – Adaptado de EPSON (2006).

Já o motor em J3 é responsável pelo movimento no eixo Z, como pode ser visto na Figura 5. Por fim, o último motor J4 é responsável por rotacionar o eixo onde a carga é acoplada.

Figura 5 – Área de cobertura no eixo Z, visão lateral.



Fonte – Adaptado de EPSON (2006).

O sistema do braço robótico ainda é acompanhado do sistema controlador RC420 rodando em Windows 2000, sendo a programação do mesmo feita em linguagem proprietária SPEL (EPSON, 2019). Esse controlador é responsável por realizar as funções transmitidas através dos comandos de configuração e posicionamento.

## 2.2 Conjuntos Ímã-Sensor

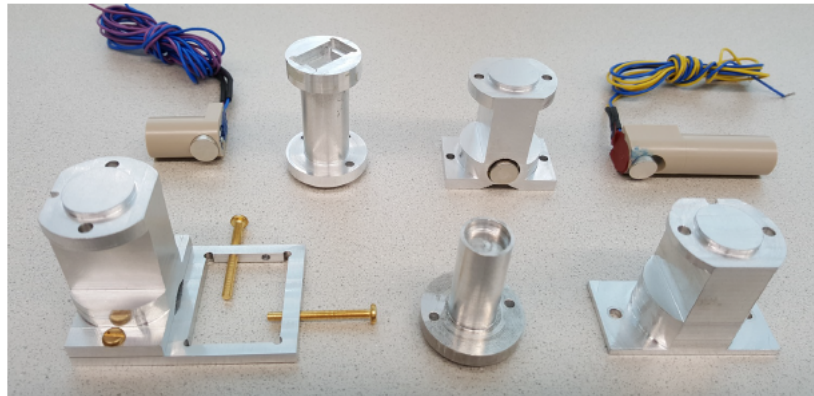
Os conjuntos ímã-sensor são os principais materiais de estudo e experimentos do RAMSRS. Estes possuem uma rotatividade razoável uma vez que cada novo experimento pode exigir um novo modelo de ímã, um novo modelo de sensor ou ambos.

### 2.2.1 Suportes

Sendo o objetivo primário do RAMSRS a realização de testes para auxiliar no desenvolvimento de novas estruturas que contém ímãs permanentes e sensores magnéticos, uma série de suportes a serem acoplados no braço robótico são necessários para que se possa adaptar o sistema a diversidade de ímãs e sensores magnéticos.



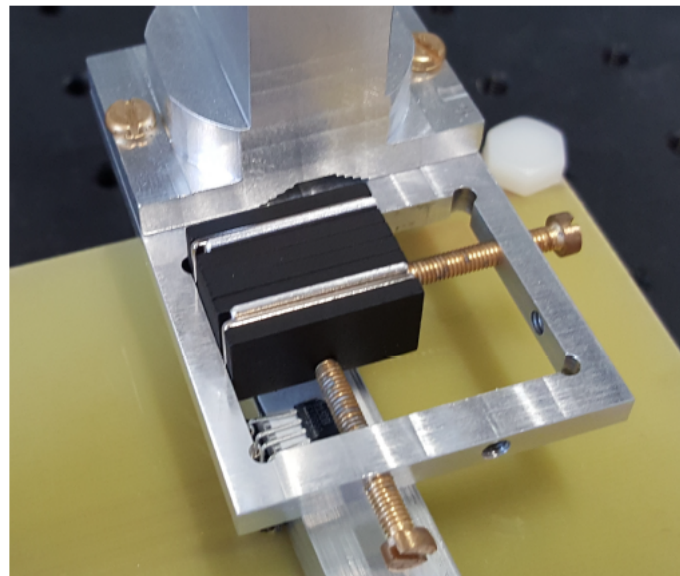
Figura 6 – Suportes para ímãs permanentes e sensores magnéticos.



Fonte – Ribeiro (2015).

É interessante que esses suportes se adaptem a diferentes ímãs e sensores, como no caso da Figura 7, que permite a utilização de diferentes ímãs paralelepípedicos.

Figura 7 – Suporte para ímãs paralelepípedicos.



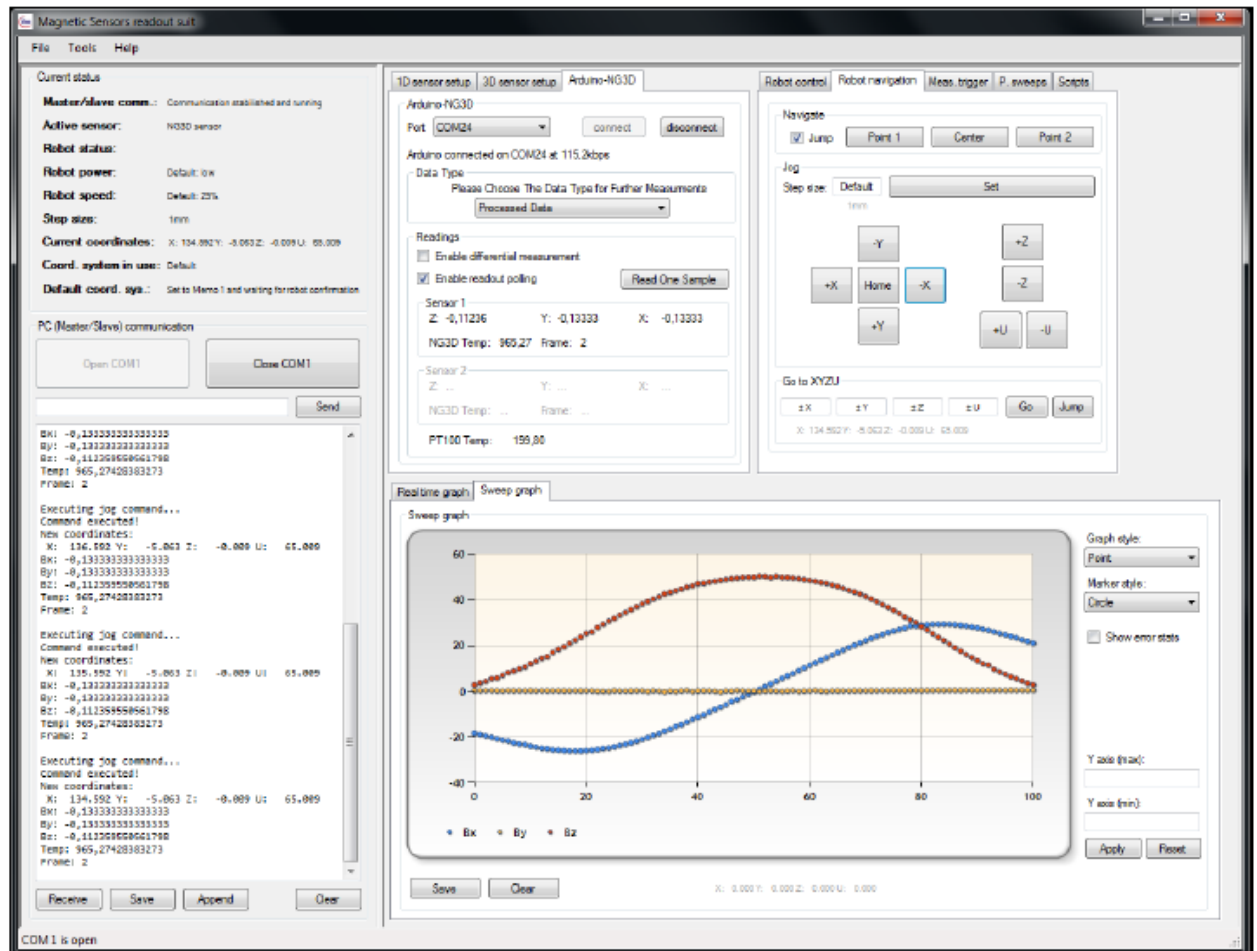
Fonte – Ribeiro (2015).

### 2.3 Software de integração

O *software* de integração é responsável por se comunicar com controlador do robô, sensores magnéticos e operador do sistema. Seu objetivo é permitir que movimentos padronizados sejam feitos pelo braço robótico enquanto medições magnéticas são realizadas, estimando com precisão o efeito que a variação das distâncias entre ímãs e sensor magnético ocasiona nas medidas de campo magnético.

Desenvolvido originalmente utilizando Visual Studio C++, sua versão atual contém 8000 linhas. Além de se comunicar com os elementos do sistema é importante que o *software* de integração tenha uma interface de utilização com o operador que facilite a realização dos experimentos, dado a natural complexidade destes. Essa interface pode ser observada na Figura 8.

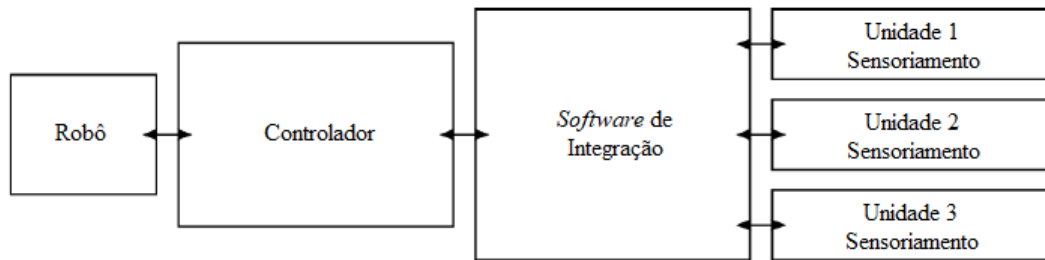
Figura 8 – Interface com operador RAMSRS.



Fonte – Carinthian Tech Research (2018).

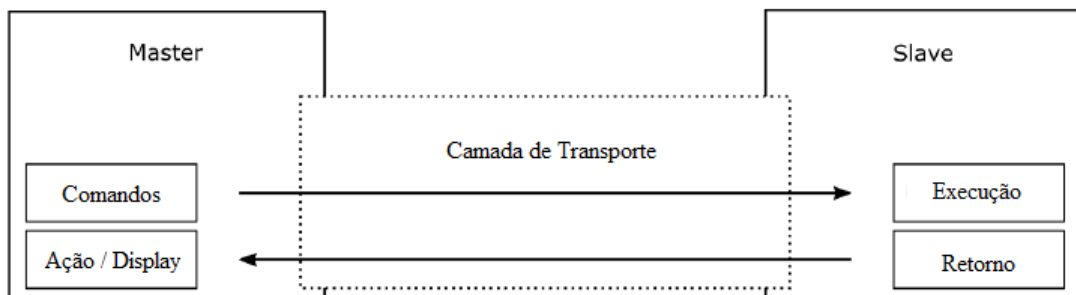
O *software* de integração realiza a comunicação, utilizando RS232, com as diferentes unidades de sensoriamento e com o robô, relacionando as informações de posição e medidas magnéticas. A Figura 9 contém um diagrama de organização da comunicação do RAMSRS.

Figura 9 – Diagrama de comunicação RAMSRS.



Fonte – Adaptado de Ribeiro (2015).

Para sincronizar as informações de posição do braço robótico com as medidas magnéticas é utilizado uma estrutura onde o *software* de integração funciona como *master* e os outros integrantes como *slaves*. A Figura 10 contém um diagrama contendo esse método de comunicação.

Figura 10 – Comunicação *Master/Slave* implementado.

Fonte – Adaptado de Ribeiro. (2015).

Dessa forma, o fluxo de informação sempre ocorre com um comando sendo enviado pelo *software* de integração, seja para o controlador ou para uma unidade de sensoriamento, o receptor processa o comando, executa a tarefa e responde com o resultado, o *software* de integração atualiza a interface com a nova informação.

## 2.4 Medição de distância no RAMSRS

É possível realizar o estudo do comportamento do campo magnético com a variação da distância relativa do conjunto ímã-sensor sem que se possua a distância inicial. Porém para que se possa comparar o experimento com as simulações computacionais e entre si, faz-se necessário conhecer a distância entre ímã e sensor magnético.

O método utilizado para obtenção dessas medidas consiste em utilizar um objeto, com dimensões conhecidas, como referência. Posiciona-se o objeto de referência entre os elementos do sistema ímã-sensor e através de pequenos passos de movimento aproxima-se as peças. Assim que o objeto de referência é pressionado entre ímã e sensor magnético, adota-se que a distância entre os mesmos se iguala à espessura do objetos.

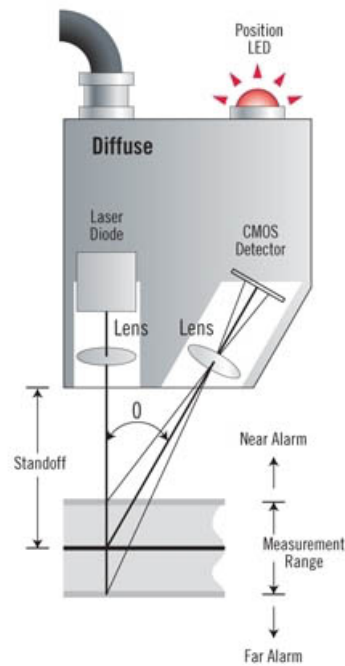
Existem diversas tecnologia que podem ser utilizadas para realizar obtenção de distância, entre elas sensores óticos, capacitivos, indutivos, sensores por efeito Gauge e ultrassom. Existe no mercado uma grande variedade de sensores para medição de distância, cada um com diferentes características de resolução, região de cobertura, tamanho, alcance, etc. Dessa forma diferentes sensores podem resolver diferentes necessidades. No contexto deste trabalho foi abordado a utilização de sensores de triangulação a laser.

#### 2.4.1 Sensor de Triangulação a Laser

O sensor de triangulação a laser é uma forma especial de triangulação ótica na qual a fonte de luz é um feixe de laser (WIESE, 1989). Os sensores laser são capazes de realizar medições precisas de distância sem contato com o objeto sendo medido (MTI INSTRUMENTS, ).

O sensor de triangulação a laser típico pode ser dividido em três componentes principais, o emissor de luz, um detector do feixe e por fim o bloco eletrônico responsável por transformar a informação obtida na posição. A Figura 11 ilustra a estrutura de funcionamento desse sensor.

Figura 11 – Sensor de triangulação a laser.



Fonte – MTI Instruments (2019).

A distância medida dependerá da posição onde o reflexo do feixe de luz emitido irá estimular o detector, caso o objeto mude de posição, o local onde o reflexo estimula o detector também mudará.

Como consequência do tamanho limitado do detector, os sensores são projetados e vendidos para faixas determinadas de medição, podendo variar de poucos milímetros até dezenas de metros dependendo do modelo de dispositivo.

### 3 METODOLOGIA

Pode-se dividir o trabalho desenvolvido em dois blocos, o primeiro bloco consiste na atualização do *software* do RAMSRS e o segundo bloco no desenvolvimento do novo método de aquisição de distância entre ímã permanente e sensor magnético. Essa divisão foi feita devido às características do primeiro bloco conter somente atualização de *software* enquanto o segundo bloco requer a adição de novos dispositivos de *hardware*

Apesar da divisão em blocos do projeto, foi feito uso da mesma abordagem metodológica em ambos casos. Utilizou-se no decorrer do trabalho a metodologia iterativa incremental, que se inicia realizando o levantamento dos requisitos, analisa-se os requisitos, é feito o esboço do projeto, implementa-se, testa-se e então através dos resultados obtidos, retorna-se para o levantamento dos requisitos do projeto e repete-se todos os passos. A iteração surge da repetição de cada passo do desenvolvimento e o incremento de fato de se buscar um projeto mais completo a cada nova iteração.

#### 3.1 Métodos aplicados

A cada nova iteração o levantamento dos requisitos foi realizado em conjunto com os operadores do RAMSRS de forma a conduzir o desenvolvimento do projeto às necessidades que os experimentos demandavam. Já na primeira iteração percebeu-se a necessidade de atualização do *software*, conduzindo ao levantamento das funcionalidades do *software* que deveriam ser mantidas.

Os testes do correto funcionamento na atualização do *software* consistiu na realização experimentos utilizando o novo *software* e comparar o resultado com o mesmo experimento utilizando o *software* legado. Nesses experimentos utilizou-se o sensor magnético de três eixos TLE493D-W2B6 (INFINEON, 2019) em conjunto com ímãs permanentes de diferentes dimensões, utilizando distâncias relativas onde o fluxo magnético sensoriado estava na faixa de dezenas de  $mT$ .

Após garantir que o novo *software* cumpria as mesmas funções que o *software* legado adicionou-se novas funcionalidades relevantes para a empresa que foram levantadas nas iterações anteriores. Nesse ponto garantiu-se que as novas funcionalidades não adicionaram erros ao *software*.

Para alcançar o objetivo de aprimorar o método de obtenção de distancia dos sistemas ímã-sensor nos experimentos, optou-se pelos sensores de distância a laser, uma vez que a empresa já dispunha dos mesmos e estes se mostraram candidatos que atendiam os requisitos do projeto.

No desenvolvimento do novo modelo de medição de distância ainda se desenvolveu protótipos utilizando os sensores de triangulação a laser de forma prévia a integração do novo *hardware* ao RAMSRS, uma vez que na ocasião dos dispositivos não se mostrarem suficientes não se investiria tempo desnecessário no desenvolvimento.

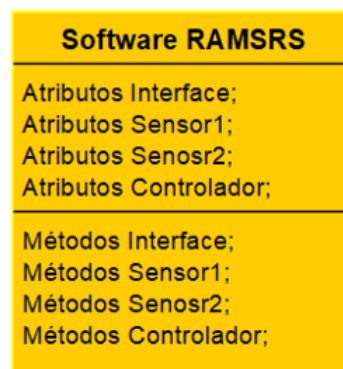
Com o novo *software* atualizado e com o sensor de triangulação a laser já testado, realizou-se a integração do novo *hardware* ao sistema, sendo necessário o projeto e confecção de estruturas de suporte mecânico dos novos dispositivos de medição de distância. Por fim, após a integração, realizou-se testes do novo sistema de forma a garantir o bom funcionamento da última versão do RAMSRS.

## 4 ATUALIZAÇÃO DO SOFTWARE DE CONTROLE

No contexto deste trabalho, um dos objetivos era aprimorar a implementação do *software* RAMSRS utilizando conceitos de engenharia de *software* mantendo as funcionalidades já existentes. Também adicionou-se um módulo que permite a inclusão de outros tipos de sensores, como por exemplo, sensores de medição a laser.

Como descrito na Seção 2.3, o RAMSRS funcionava em modo *master/slave*, de modo que o *software* realizava as requisições ao controlador do robô e aos sensores. Porém todo o código dos sensores e funcionalidades do equipamento não estava modular, de forma que cada nova funcionalidade ou dispositivo a ser adicionado ao sistema representava um grande esforço de implementação. A Figura 12 contém um diagrama conceitual que ilustra a organização do *software* legado.

Figura 12 – Diagrama de blocos conceitual do *software* legado do RAMSRS

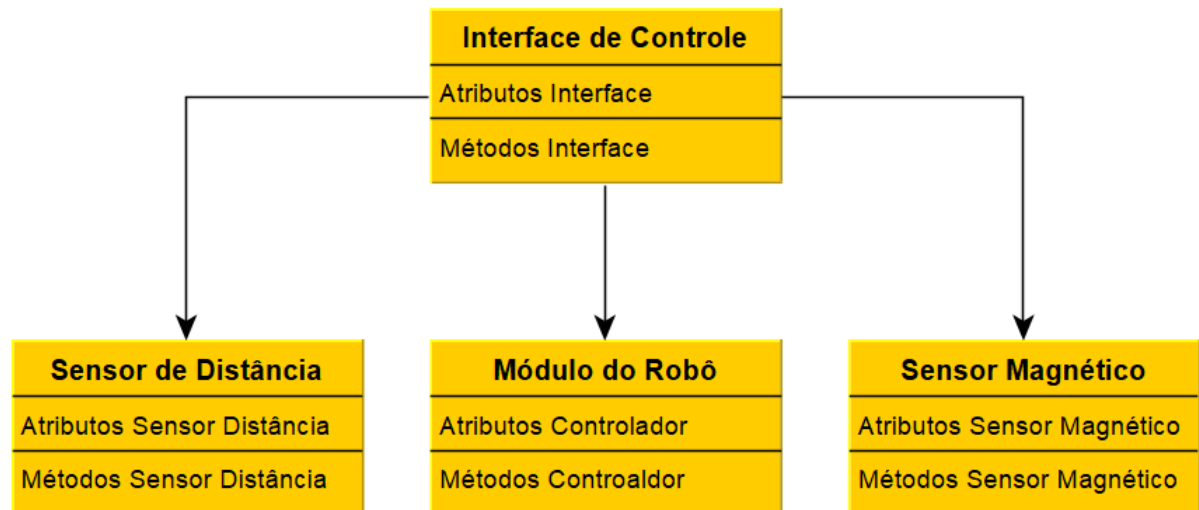


Fonte – Elaboração própria (2019).

A nova implementação foi realizada utilizando o ambiente Visual Studio 2017 junto com o *.NET framework* como um requisito especificado pela empresa. Optou-se por utilizar a linguagem de programação *C#* pois ela continha maior documentação e suporte técnico.

Organizou-se o *software* em módulos como ilustrado pela Figura 13. Cada um dos blocos representa um módulo diferente que contém seu próprio código, em contraste com a organização anterior onde todos os métodos e atributos estavam em um único módulo.



Figura 13 – Diagrama de blocos conceitual do *software* RAMSRS

Fonte – Elaboração própria (2019).

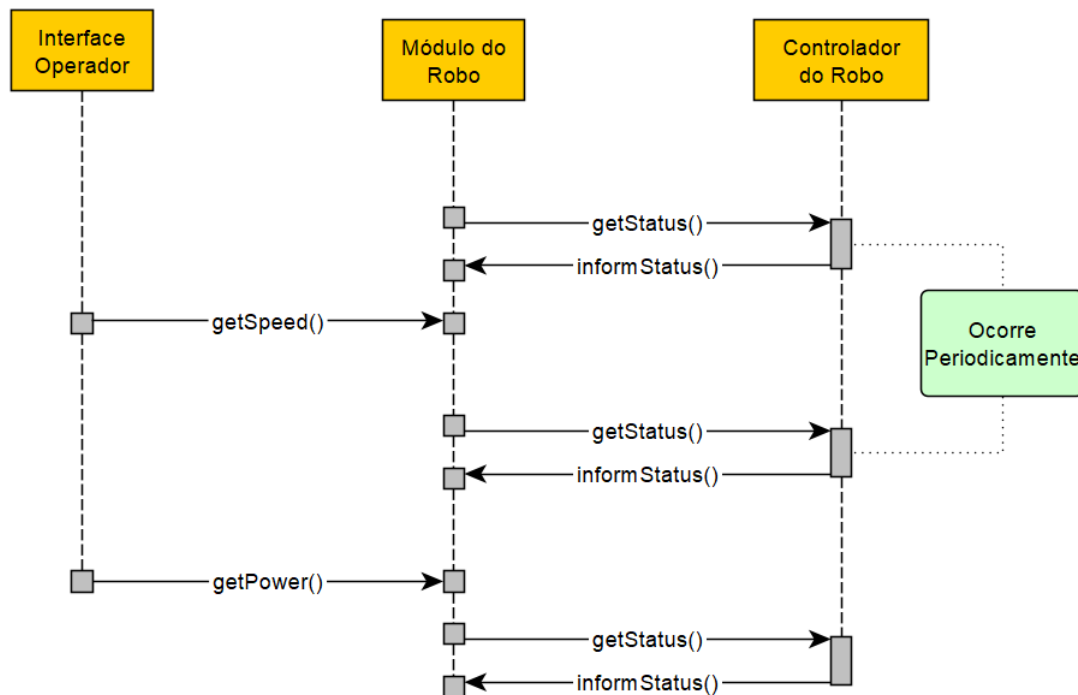
#### 4.1 O módulo do Robô

O controlador proprietário do braço robótico é programado em SPEL+, uma linguagem proprietária desenvolvida e mantida pela EPSON (EPSON, 2019). O *software* do controlador do robô não sofreu alterações para manter compatibilidade com o *software* RAMSRS legado. O módulo “controlador robô” foi a classe desenvolvida para se comunicar com o braço robótico.

A comunicação é realizada utilizando a interface RS232 e as principais funções que o módulo controlador do braço robótico exerce são receber os comandos de movimento e informar os status do braço. O braço robótico é passivo, ou seja, só se comunica com o módulo do robô quando acionado.

Nesse novo módulo, algumas funções precisam ser replicadas de forma a manter as mesmas funcionalidades do sistema anterior. A primeira série de métodos reimplementados foram os de obtenção das informações do robô: posição atual, potência e velocidade de movimento, passo de movimentação e sistema de coordenadas. Todas essas informações são requisitadas pelo módulo do robô com um comando único, repetido periodicamente, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Diagrama de sequência - Aquisição do Status do Robô



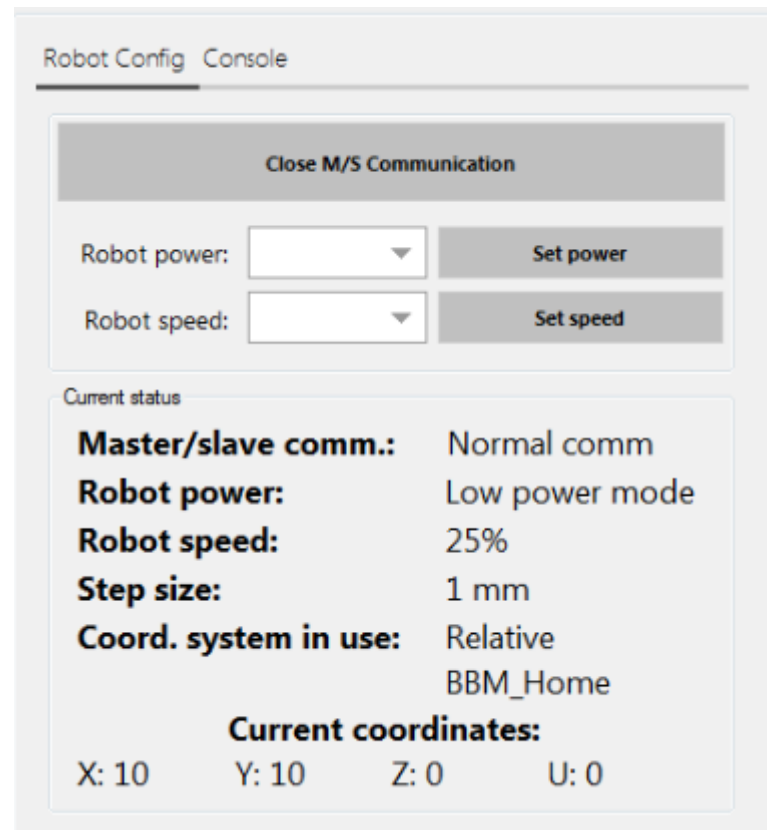
Fonte – Elaboração própria (2019).

O módulo do robô mantém cada informação em um atributo que pode ser então requisitado por outros módulos separadamente. Fazem parte do status do robô:

- *ActPos*: Posição atual do braço robótico.
- *Speed*: Velocidade de movimentação do braço. Podendo ser configurado para 25%, 50%, 75% e 100%.
- *Power*: Potência de carga na movimentação do braço. Podendo ser configurado para baixa ou alta potência.
- *Step*: Passo de movimento. Será melhor explicado na Seção 4.1.1.
- *CommStatus*: Estado da comunicação com o controlador do robô. Podendo ser comunicação normal, desligada via *software* ou sem respostas.
- *CoordSystem*: Sistema de coordenadas que está sendo utilizado. Será melhor explicado na Seção 4.1.2

A Figura 15 ilustra a interface que contém as informações do módulo do robô que as exibe ao operador. É possível alterar os valores de potência e velocidade, bem como desligar a comunicação.

Figura 15 – Interface para monitoramento e configuração do robô



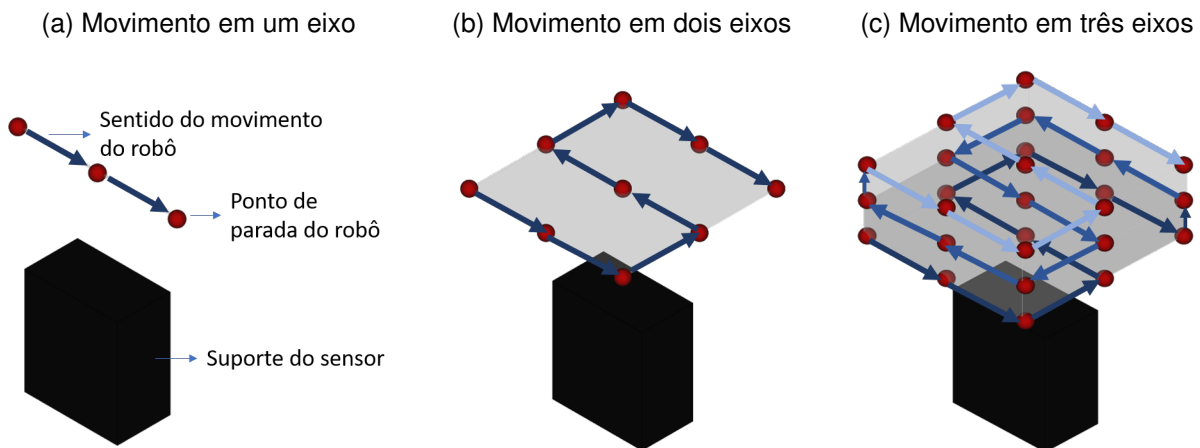
Fonte – Elaboração própria (2019).

#### 4.1.1 Movimentando o robô

A função mais importante do módulo do robô é enviar comandos de movimentação do braço robótico. Existem algumas formas de fazê-lo, sendo mais simples a utilização do comando de incremento e decremento de posição. Qualquer um dos quatro eixos de liberdade pode ser variado utilizando comandos de incremento e decremento, sendo que a amplitude do deslocamento é definido pelo valor atual configurado em *Step* e cada eixo é deslocado separadamente.

Também é possível informar uma coordenada final. Nesse caso o robô irá mover-se para a posição informada de forma independente movendo diferentes eixos simultaneamente. Contudo, no contexto dessa aplicação, é mais importante realizar uma série de movimentos padronizados do que simplesmente mover o robô de um ponto ao outro. Esses movimentos padronizados podem ser feitos de forma a percorrer uma linha, área ou volume. A Figura 16 contém, respectivamente, exemplos de movimento em linha, área e volume.

Figura 16 – Exemplos de movimentação padronizada



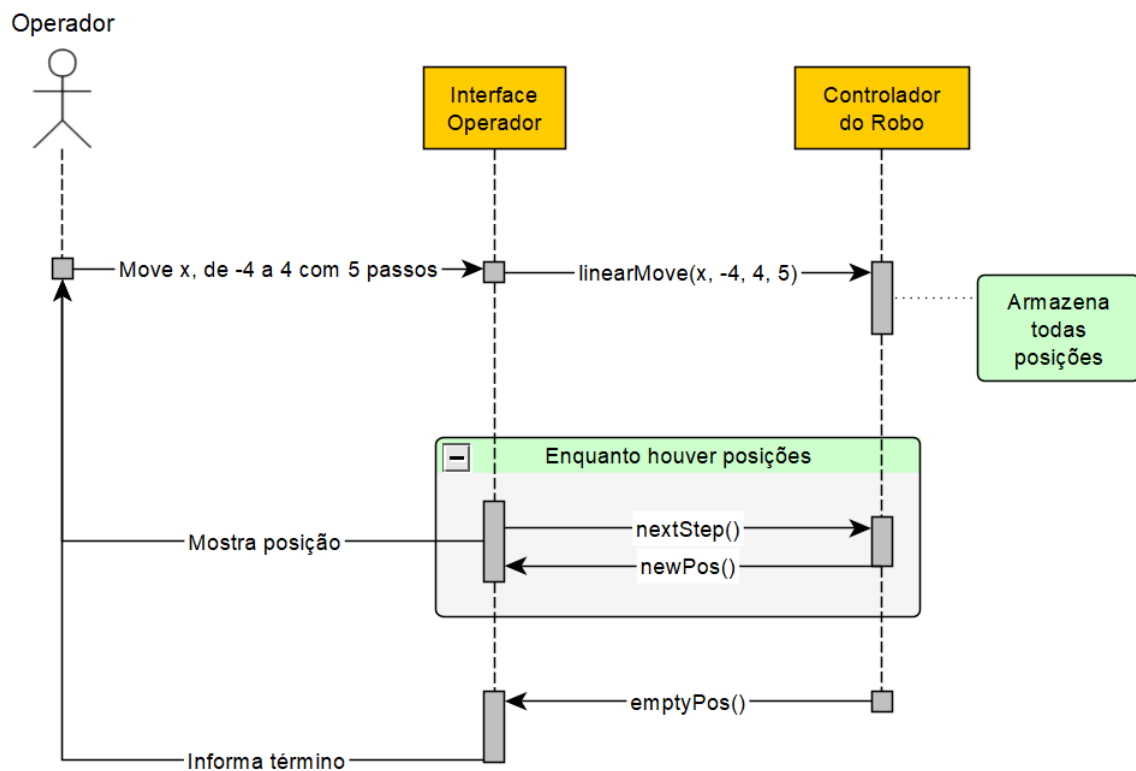
Fonte – Elaboração própria (2019).

Para executar esses movimentos padronizados o operador informa qual o tipo de movimento (linear, bidimensional ou tridimensional), quais os eixos que irão movimentar e quantos passos devem ser dados do início ao fim de cada eixo. O módulo do robô armazena todas as coordenadas das posições e pode-se então começar o movimento de varredura da lista de coordenadas.

Um novo movimento é iniciado apenas quando um comando de movimento para a próxima coordenada é finalizado, pois o módulo informa cada vez que a nova posição é alcançada. Essa abordagem permite que tarefas com tempo de execução desconhecidos sejam realizadas com o robô na posição correta e evita ociosidade do sistema.

A Figura 17 contém um exemplo de movimento linear: o operador informa um movimento de 5 passos no eixo x, começando com x em -4 e indo até +4, estando y, z e u em zero. O módulo do robô armazena as coordenadas (-4,0,0,0), (-2,0,0,0), (0,0,0,0), (2,0,0,0) e (4,0,0,0).

Figura 17 – Diagrama de sequência de um movimento 3D



Fonte – Elaboração própria (2019).

É possível observar que uma nova movimentação é realizada somente quando o robô atinge a posição do passo anterior e um novo comando *nextStep()* se faz necessário para executar o próximo passo de movimentação. Isso permite que medições possam ser realizadas assim que o robô informa que a posição estipulada foi atingida corretamente, assim como continua para a próxima posição assim que as medições no ponto atual terminam.

Além de movimentos padronizados, previu-se uma forma de adicionar esses comandos via um arquivo de texto que contem uma lista de coordenadas. O uso de um arquivo permite flexibilizar qualquer forma de sequência de posições sem qualquer alteração no módulo do robô.

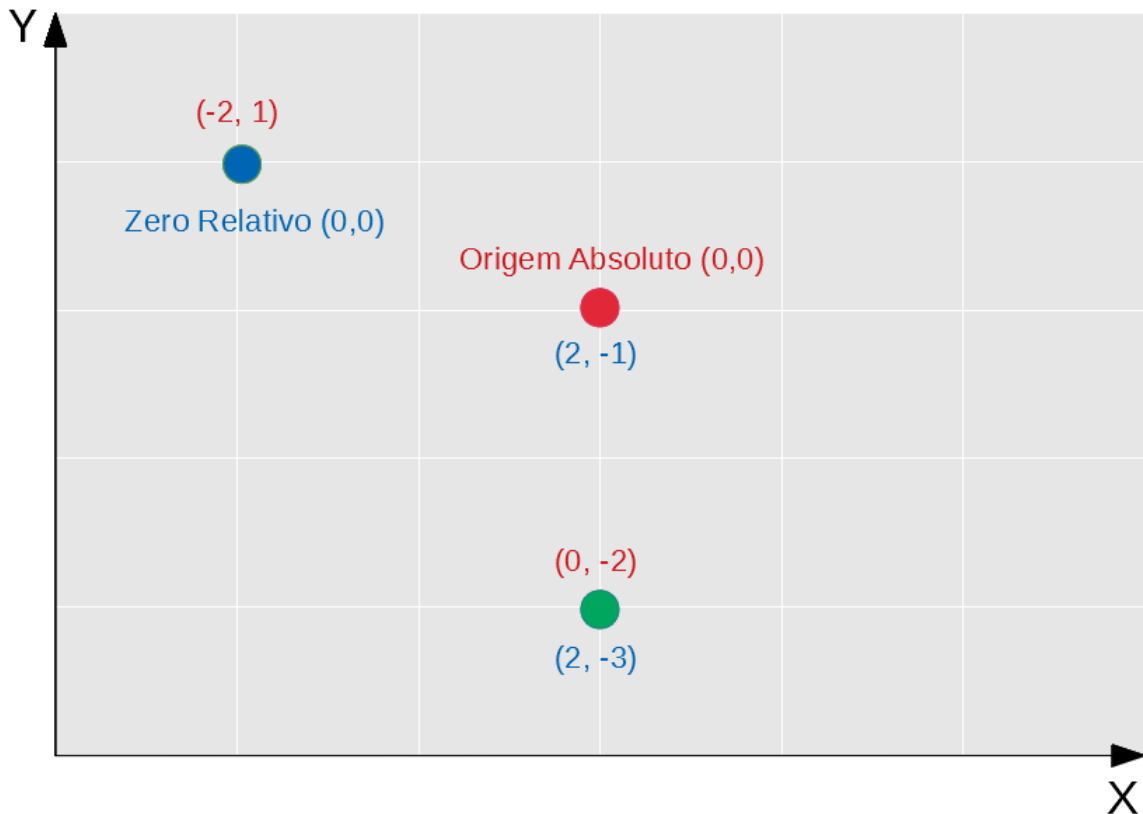
#### 4.1.2 Sistema de coordenadas

A posição do braço robótico é controlada através de comandos que são compostos por coordenadas cartesianas, apesar do movimento do robô utilizar a rotação nos seus quatro eixos. É necessário uma posição considerada origem/zero para que essa comunicação em coordenadas cartesianas possa ocorrer.

Na Figura 18, por exemplo, é possível observar três possíveis pontos de

posicionamento, em vermelho a origem (0, 0), em azul a posição (-2, 1) e por fim em verde a posição (0, -2).

Figura 18 – Resultado da mudança de origem nas posições cartesianas.



Fonte – Elaboração própria (2019).

Pode-se tornar a posição representada pelo ponto em azul como origem de um novo sistema de coordenadas, sendo agora o ponto em azul a posição (0, 0), em vermelho a posição (2, -1) e em verde a posição (2, -3).

O próprio controlador do robô permite a configuração de uma coordenada origem/zero virtual do sistema cartesiano. O conjunto de coordenadas funcionando com esta nova origem pode ser chamado de coordenadas relativas, em contraste com as anteriores, chamadas de coordenadas absolutas.

É interessante utilizar uma origem relativa nos experimentos para facilitar a relação entre o movimento e o resultado obtido. Já que é mais simples relacionar alterações nas medidas quando se movimenta de (0, 0) para (1.5, 0) do que quando se movimenta de (27.321, -12.412) para (28.821, -12.412), mesmo que o movimento realizado seja o mesmo.

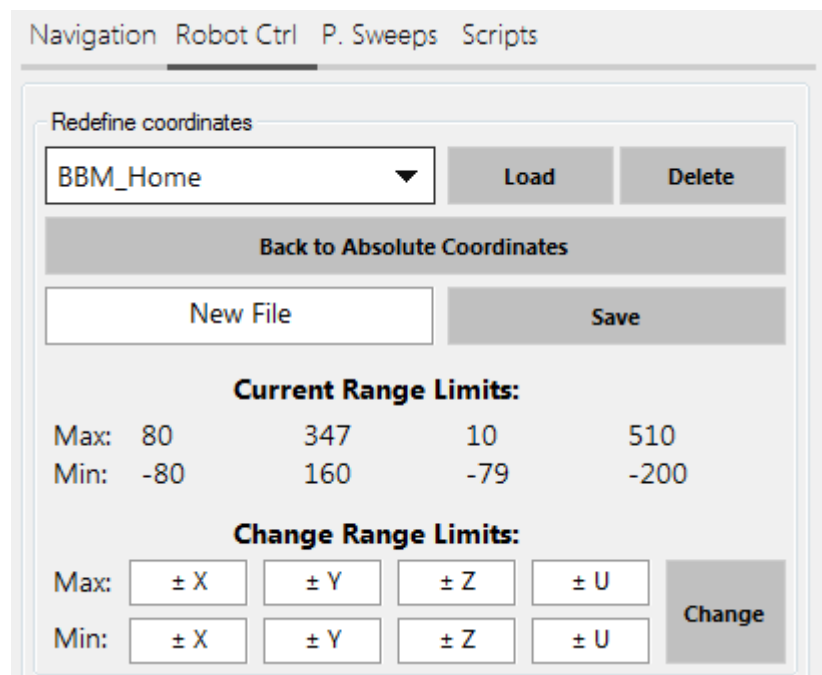
Apesar de ter a proposta de auxiliar o operador no decorrer dos experimentos, essas trocas realizadas utilizando comandos para o controlador do

braço robótico foram apontadas como um fonte de erros pelos operados anteriores, devido a *bugs* não identificados.

No novo *software*, o módulo do robô utiliza somente coordenadas absolutas na comunicação com controlador do braço robótico. O módulo do robô tem a responsabilidade de armazenar e converter as coordenadas relativas a serem apresentadas ao operador.

Para armazenamento das posições relativas foi utilizado um arquivo XML que permite um número praticamente infinito de coordenadas relativas, em contraste com o controlador do robô que permitia somente cinco. Isso possibilita que uma maior diversidade de experimentos ocorram em sequência, já que cada novo conjunto de teste necessita de um novo sistema de coordenada relativo, e caso seja necessário repetir ou expandir os experimentos o sistema de coordenadas relativos correspondente não terá sido sobrescrito. A interface desenvolvida para controle das coordenadas relativas pode ser vista na Figura 19

Figura 19 – Janela de configuração das coordenadas relativas.



Fonte – Elaboração própria (2019).

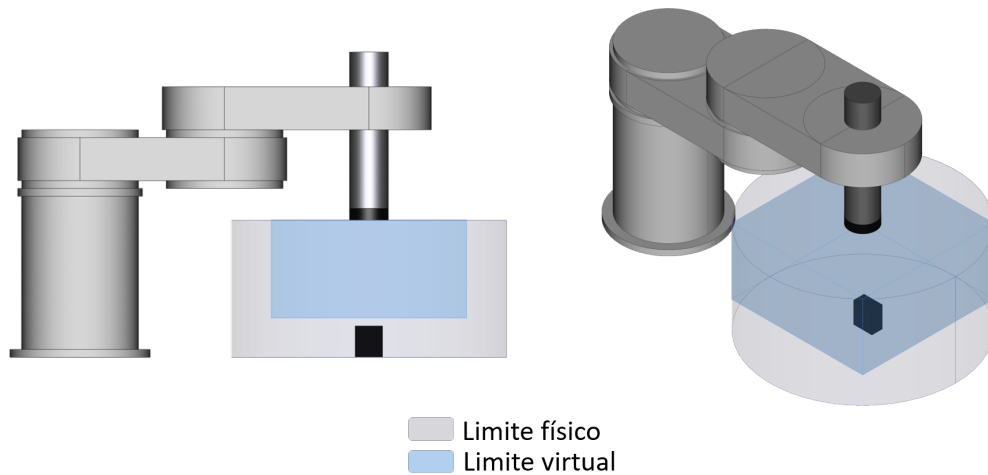
#### 4.1.2.1 Limite de movimentação

O braço robótico possui uma limitação nos seus movimentos devido a limitações físicas e construtivas. É possível observar uma simplificação dessa área de movimentação na Figura 20, destacado em cinza.

Dois problemas principais podem ser destacados referentes a esse limite

físico de movimento. O primeiro é o fato da estrutura de suporte do sensor magnético, representado na Figura 20 em preto, encontrar-se dentro da área de movimentação.

Figura 20 – Limites de movimentação



Fonte – Elaboração própria (2019).

O segundo problema ocorre quando se envia um comando de movimentação para uma posição fora da área de cobertura. Nesse caso o braço robótico tenta mover-se para a posição escolhida, porém quando os limites físicos são ultrapassados, uma proteção é ativada e é necessário reiniciar o equipamento manualmente (desligar o sistema, mover fisicamente o braço para dentro do volume de cobertura e ligar novamente).

Baseando-se nessas condições, implementou-se uma limitação de movimentos virtuais, uma vez que o novo *software* é responsável por converter coordenadas relativas em absolutas e sempre se comunica em coordenadas absolutas com o braço robótico. Essa limitação virtual de movimento é demonstrada na Figura 20 pelo volume em azul.

## 4.2 Sensor magnético

A atribuição principal do RAMSRS é realizar a validação de modelos de sistema ímã e sensor. Os experimentos podem ser focados para estudo de uma série de ímãs, no teste de novos sensores magnéticos ou então na configuração de posição entre ímãs e sensores já conhecidos. Sendo assim é esperado trocas frequentes do sensor magnético.

Na implementação anterior do *software*, cada novo sensor magnético necessitava da modificação de inúmeros métodos tornando a manutenção do *software*



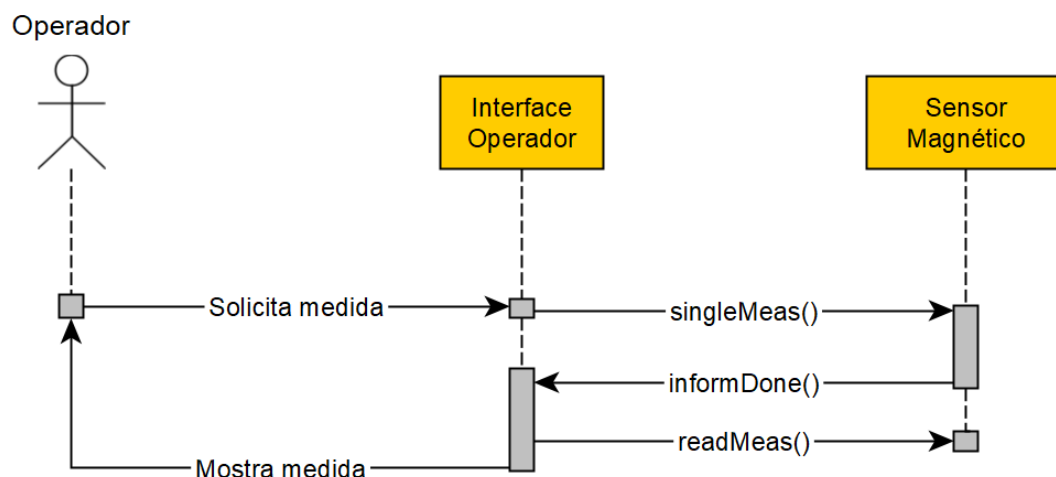
impraticável ao longo do tempo. Na nova implementação cada novo sensor pode receber uma classe própria ou herdar uma já existente.

A nova classe do sensor magnético contém atributos que são basicamente as informações de como deve ocorrer a comunicação com o sensor magnético, qual a forma do dado obtido e informações de identificação, como nome, fabricante, etc. Essa lista de informações pode, ou não, ser utilizada pela classe da interface com o operador.

Quanto aos métodos, todas as classes de sensores devem realizar e armazenar medições, notificar que a medição está concluída e manter um histórico de medições realizadas. Utilizando essa abordagem é possível que o módulo principal do *software* concentre-se somente no dado obtido, deixando para cada módulo do sensor tratar as peculiaridades dos diferentes sensores magnéticos.

Três métodos de interface com o sensor foram implementados: realização de uma única medição, realização de  $N$  medições com período informado e realização de medições o mais frequente possível. O diagrama de sequência da Figura 21 mostra o processo de aquisição de uma medida magnética.

Figura 21 – Diagrama de sequência da aquisição de uma medição magnética.



Fonte – Elaboração própria (2019).

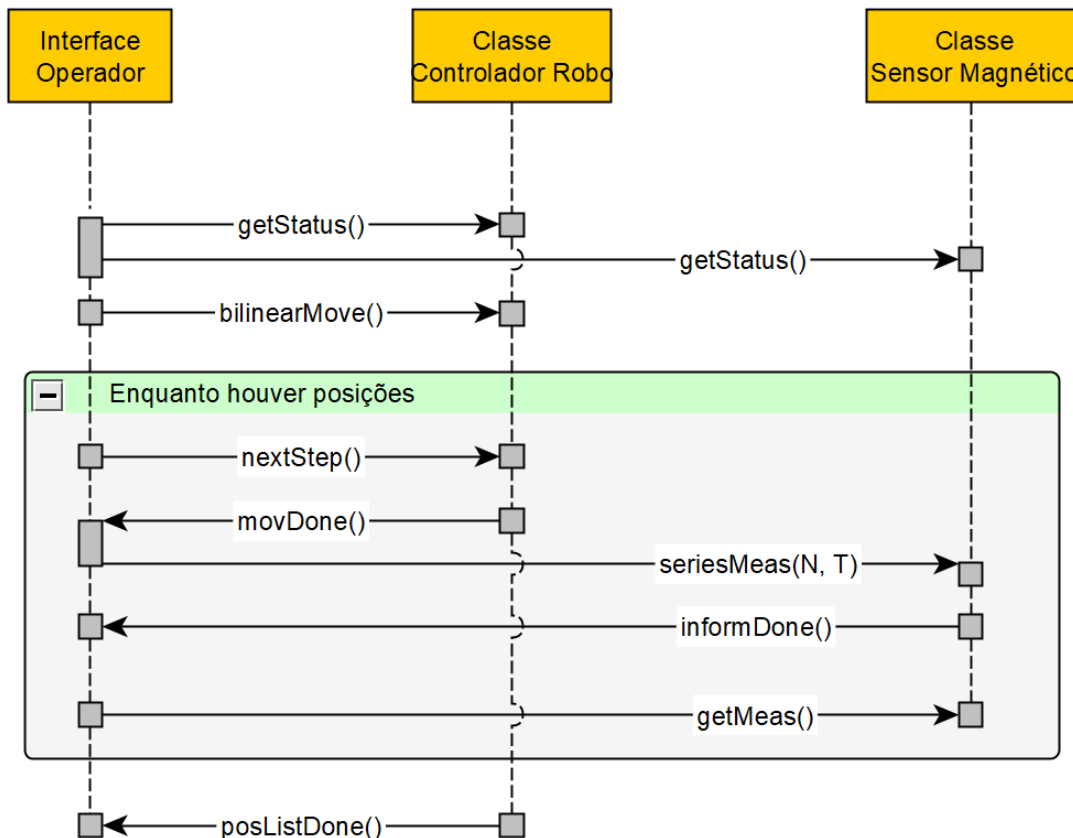
### 4.3 Interface de controle

Essa classe é a responsável pela integração de todo o sistema, fazer o controle do fluxo de informação e ser a interface com o operador. Todos os botões, caixas de diálogo, símbolos e imagens fazem parte dessa classe. É possível visualizar a interface completa no Anexo A.

É nesta classe que as classes do controlador do robô e sensor magnético

são instanciados e seus métodos são executados para realizar as tarefas necessárias para a realização dos experimentos. O diagrama de seqüências da Figura 22 mostra a interação entre as classes da interface, do controlador do robô e sensor magnético.

Figura 22 – Diagrama de seqüência da interação entre Interface, robô e sensor

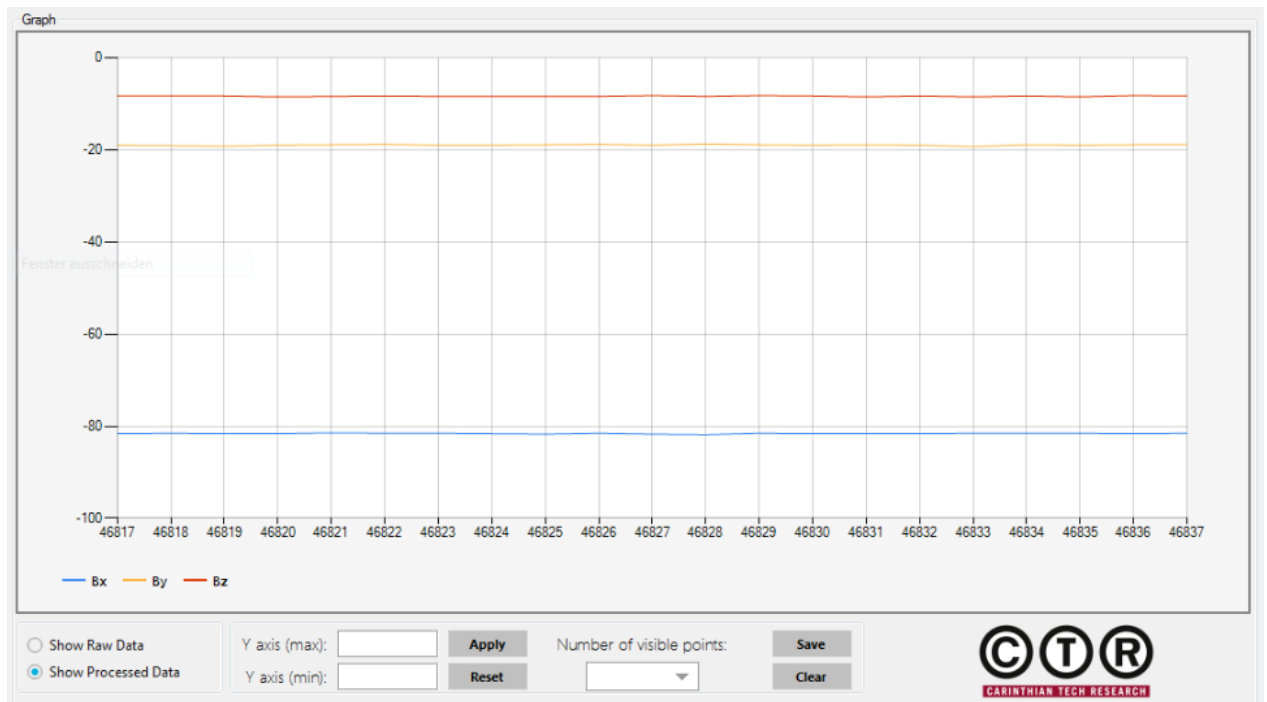


Fonte – Elaboração própria (2019).

Duas formas de apresentar os dados para os operador foram desenvolvidos. O primeiro é através de textos contendo informações do status do robô e sensor que não devem variar durante o experimento, como nome do sensor e potência e velocidade utilizados no robô.

O segundo é o gráfico que mostra ao usuário em tempo real as medidas magnéticas realizadas, como ilustrado pela Figura 23. Como os dados obtidos dos experimentos devem ser comparados entre si e com simulações, também foi desenvolvido métodos que permitem salvar todos os dados obtidos no experimento em um arquivo de texto.

Figura 23 – Gráfico do *software* desenvolvido para visualização das medidas obtidas.



Fonte – Elaboração própria (2019).

#### 4.3.1 Validação do *software*

Para validar o funcionamento do novo *software* foram comparados experimentos realizados utilizando o *software* legado e a nova implementação. Nestes experimentos foram mantidos constantes a origem do sistema, ímã, sensor magnéticos e suportes, já que a alteração destes iria interferir nas medidas obtidas.

Nesse experimento, a posição de origem foi escolhida para que um fluxo magnético em Bx de aproximadamente 50 mT, em By de aproximadamente 30 mT e em Bz de aproximadamente 45 mT. Esses valores foram escolhidos de forma empírica baseado na experiência dos operadores em experimentos anteriores para que houvesse boa variação dos fluxos magnéticos, porém mantendo-se dentro dos limites do sensor magnético.

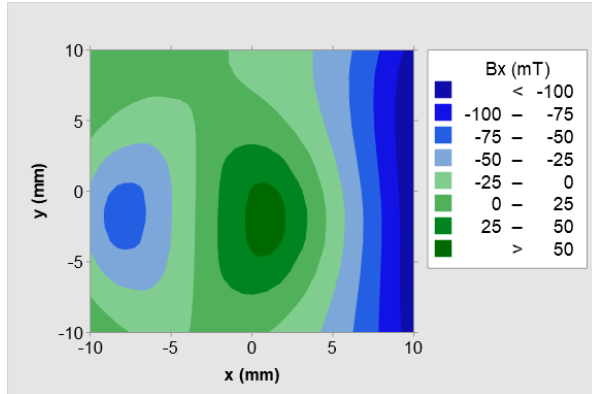
A variação de movimento em x e y foi de -10 a +10 mm, sendo o passo de movimento de 2 mm. Duas alturas foram utilizadas no experimento, a primeira em 0 mm e a segunda em 1 mm. Em cada ponto foram obtidos 50 medidas magnéticas, resultando em 12100 medidas em cada experimento.

Obeve-se a média em cada ponto e gerado gráficos de contorno para análise visual da semelhança entre os experimentos. Separou-se os gráficos em  $z = 0$  mm e  $z = 1$  mm para que se pudesse apresentar os dados em forma gráfica. A Figura 24 contém os gráficos do *software* legado à esquerda e do novo *software* a direita, para

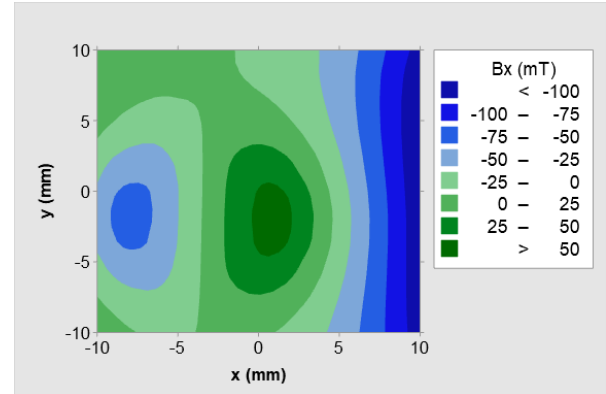
$z = 0$  mm.

Figura 24 – Comparação dos fluxos magnéticos para  $z$  em 0 mm.

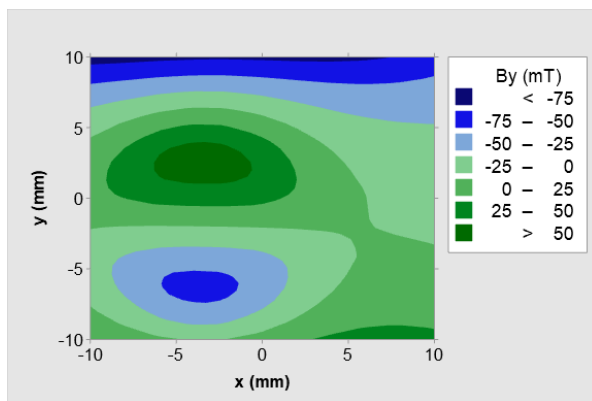
(a) Eixo X - *Software Legado*



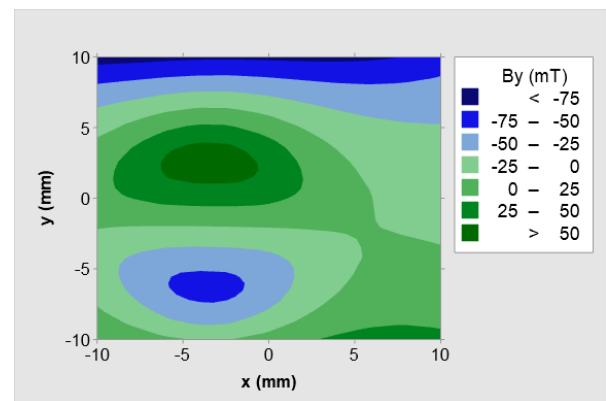
(b) Eixo X - *Novo Software*



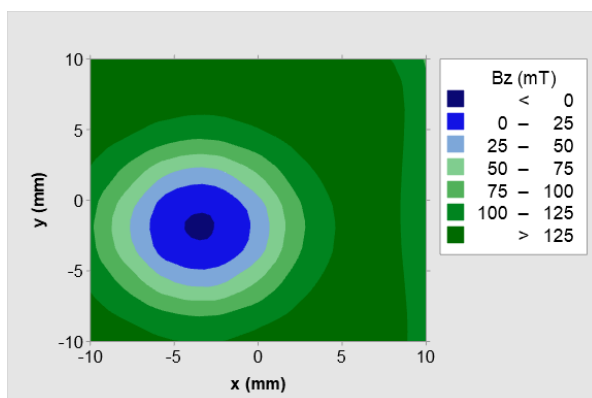
(c) Eixo Y - *Software Legado*



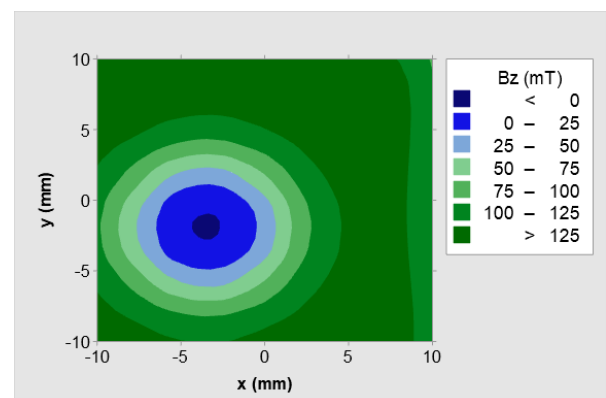
(d) Eixo Y - *Novo Software*



(e) Eixo Z - *Software Legado*



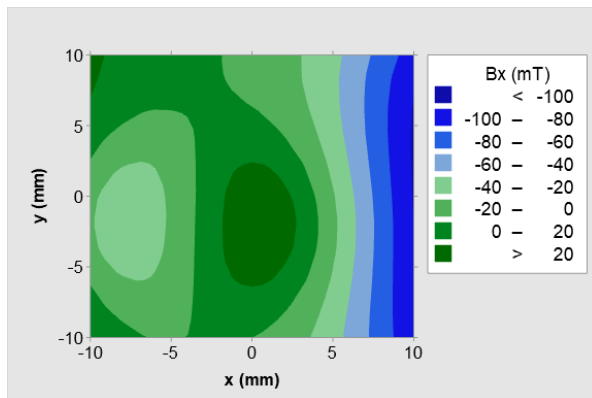
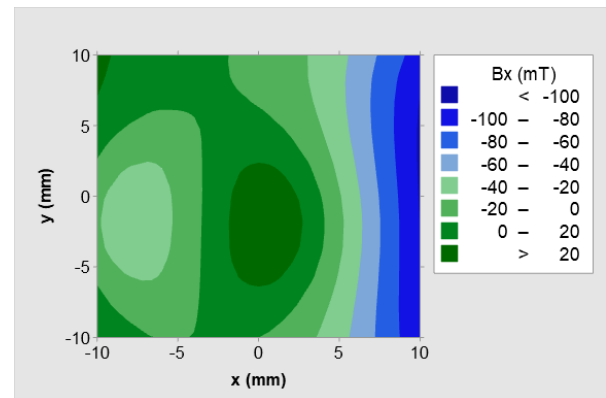
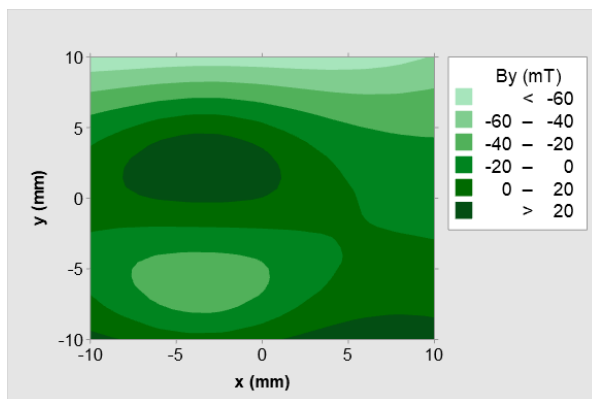
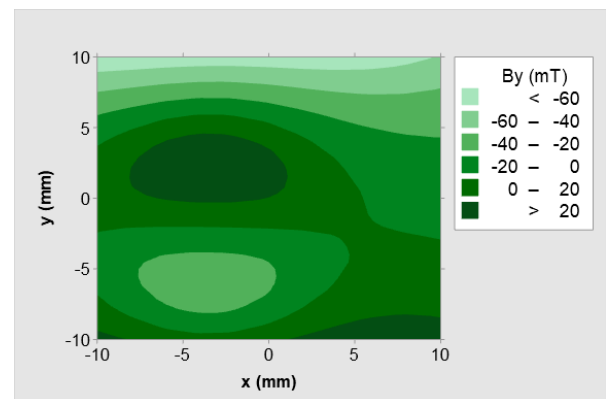
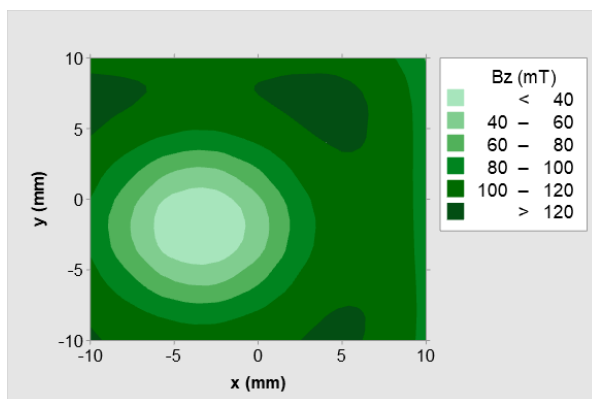
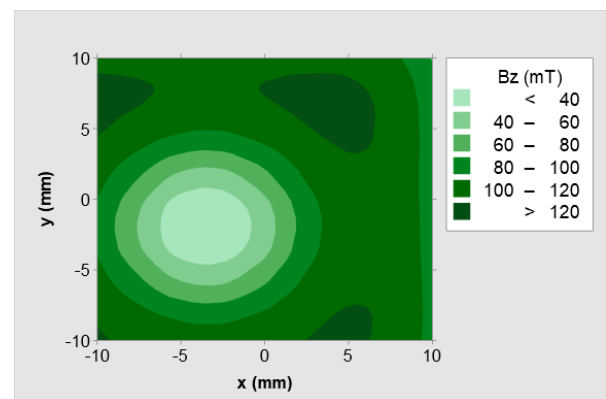
(f) Eixo Z - *Novo Software*



Fonte – Elaboração própria (2019).

Os gráficos de contorno da outra metade do experimento, para quando  $z$  é 1 mm, podem ser vistos na Figura 25.

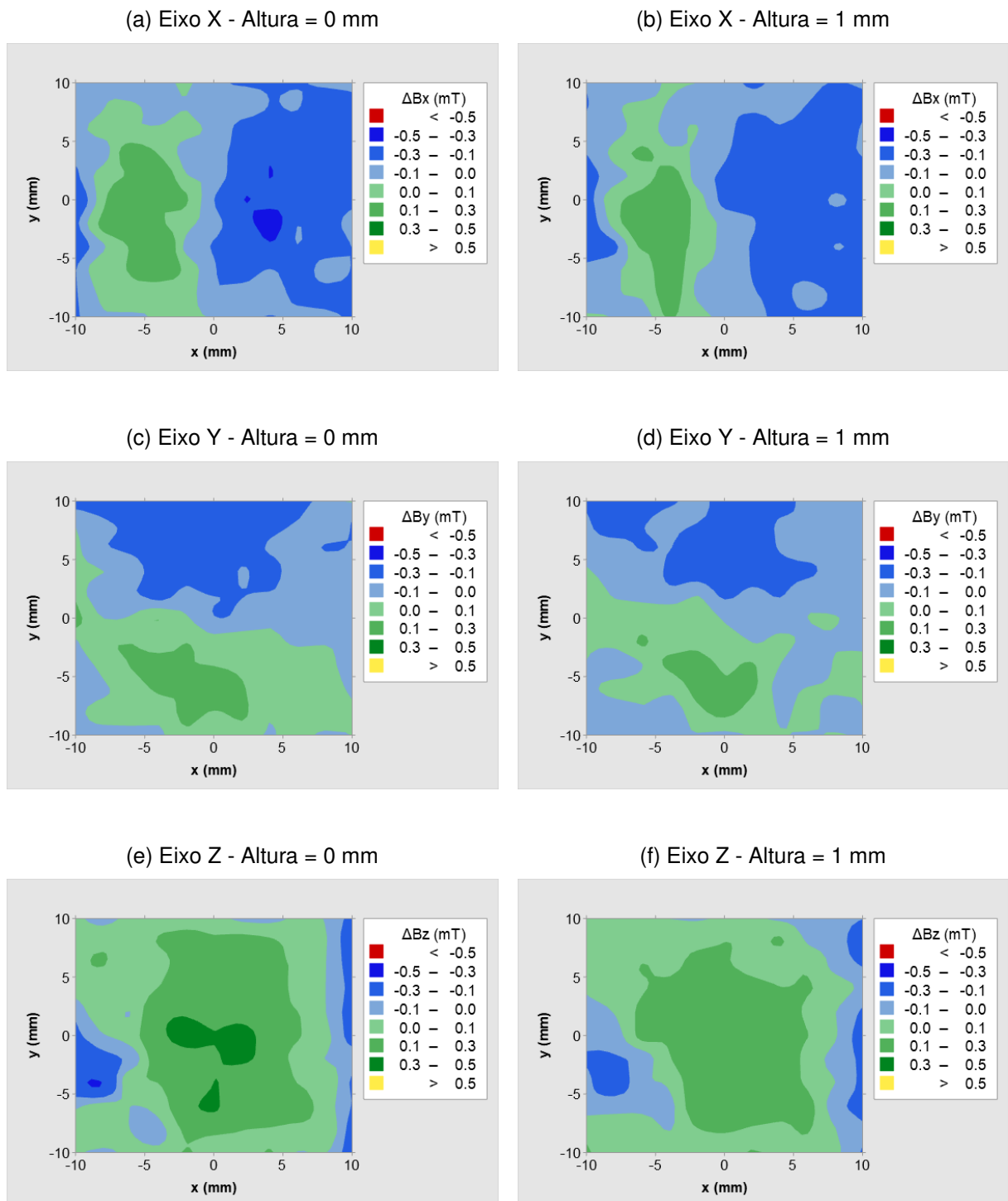
Figura 25 – Comparação dos fluxos magnéticos para z em 1 mm

(a) Eixo X - *Software Legado*(b) Eixo X - *Novo Software*(c) Eixo Y - *Software Legado*(d) Eixo Y - *Novo Software*(e) Eixo Z - *Software Legado*(f) Eixo Z - *Novo Software*

Fonte – Elaboração própria (2019).

Realizou-se então a diferença entre os resultados obtidos utilizando o novo *software* e os resultados obtidos utilizando o *software* legado, de forma a saber a dimensão matemática de diferença entre as implementações. Essa diferença pode ser observada nos gráficos de contorno da Figura 26.

Figura 26 – Diferença entre fluxos magnéticos do *software* novo e legado.

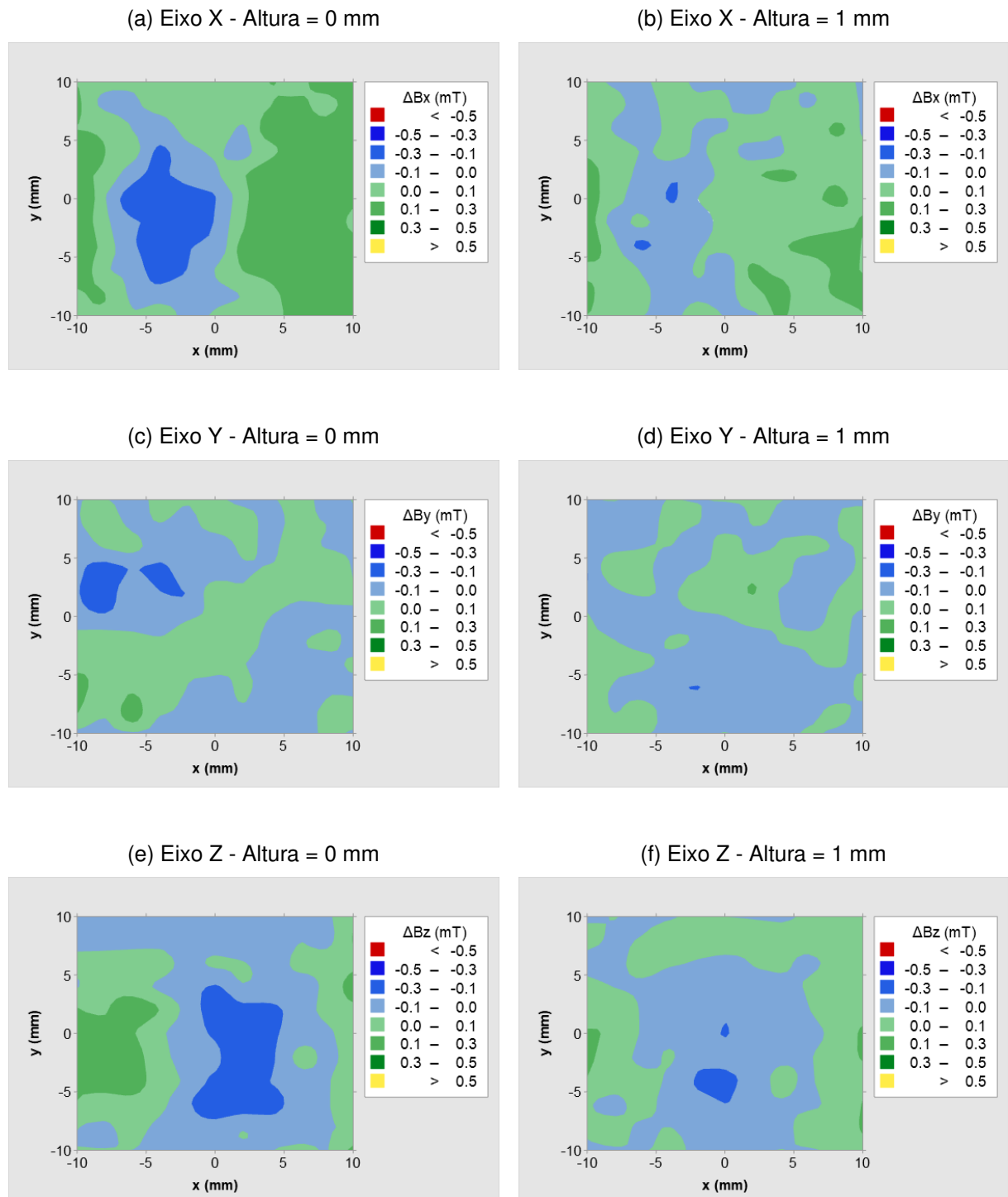


Fonte – Elaboração própria (2019).

É possível notar que a diferença nunca passa de 0,5 mT, o que está dentro dos requisitos. Ainda foi realizado mais um teste de forma a garantir que esta diferença não foi adicionada pelo *software* desenvolvido, mas na verdade é uma variação natural do experimento devido a outros fatores, por exemplo variação do sensor magnético.

Esse teste consistiu em realizar o mesmo experimento, nas mesmas condições, utilizando o *software* legado em ambos experimentos. A Figura 27 contém a comparação do *software* legado com ele mesmo.

Figura 27 – Diferença entre fluxos magnéticos em dois experimentos utilizando o *software* legado.



Fonte – Elaboração própria (2019).

Pode-se então concluir através dos gráficos de contorno das diferenças das medidas que os resultados obtidos utilizando o *software* desenvolvido é virtualmente igual ao resultado obtido utilizando o *software* legado e que as diferenças são oriundas de outras fontes.

#### 4.3.2 Busca de posição

Quando um novo experimento é iniciado, seja para testar ímãs, sensores ou o conjunto, é comum configurar uma nova posição relativa. Apesar de poder ser escolhido ao acaso é comum o operador buscar um ponto onde as medidas magnéticas sejam simples de visualizar, facilitando análises das medidas obtidas durante o próprio experimento.

Esse ponto pode ser, por exemplo, uma posição onde duas das três medidas magnéticas de um sensor sejam zero, e a terceira medida seja 100 mT. Pode ser a posição onde duas medidas são 10 mT e a outra não importe. Ou que somente um dos eixos importe. O operador decide em cada experimento qual a posição ideal dependendo das características do experimento.

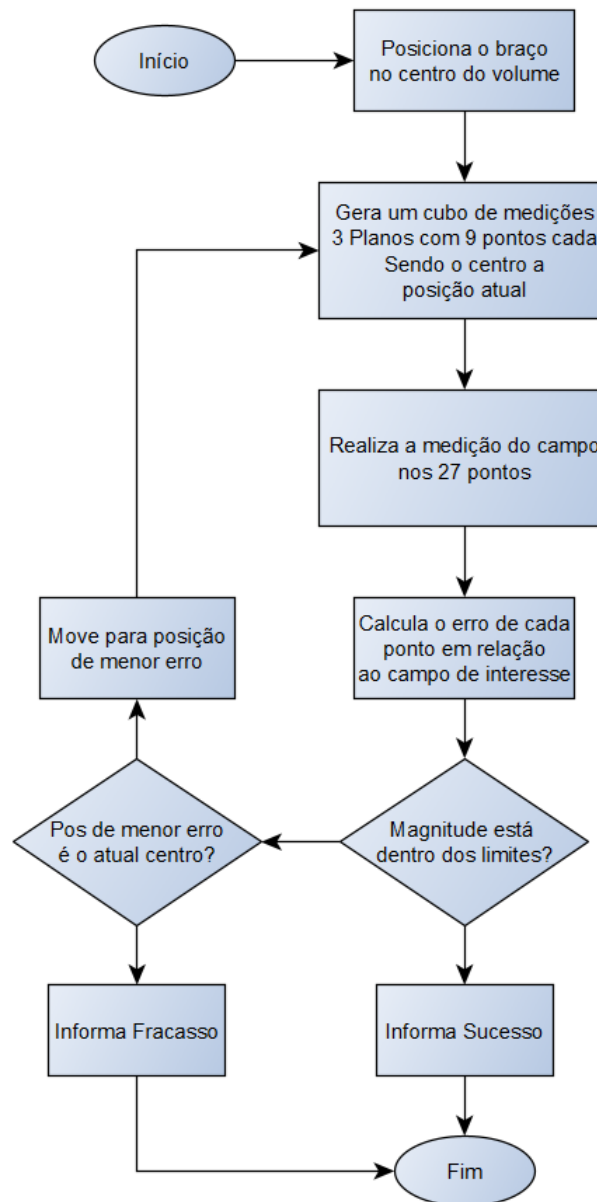
No *software* legado essa busca era realizada através da movimentação em cada eixo do robô e inspeção visual das medidas magnéticas através do gráfico. Para facilitar esta tarefa, no novo *software* foi implementado uma ferramenta para realizar a busca dessa posição de forma automática, poupando tempo e esforço do operador. O operador informa através da interface desenvolvida os seguintes parâmetros:

- Um volume onde deve ser encontrado a posição em questão.
- A magnitude de campo magnético em cada eixo de interesse.
- O intervalo de magnitude aceitável.
- O passo de movimento que deve ser utilizado

Com essas informações, os passos da Figura 28 são executados para encontrar uma posição do braço robótico onde a magnitude do campo magnético esteja dentro do intervalo fornecido.



Figura 28 – Fluxograma para busca de posição



Fonte – Elaboração própria (2019).

A ferramenta de busca de posição se mostrou eficiente no auxílio aos operadores para configuração de novos experimentos. Mostrou-se mais rápido e preciso que o método utilizado anteriormente, tornando-se a ferramenta padrão para sempre que a busca de uma nova posição se fez necessário.

#### 4.4 Sensor de distância

A distância entre o sensor magnético e o ímã é uma das informações mais importantes para realizar comparações entre experimentos com diferentes ímãs e comparações entre experimentos físicos e simulados. No sistema anterior a medição

dessa distância era realizada utilizando ferramentas externas e que dependiam da percepção do operador, que adicionava um erro aleatório às medições.

No contexto desse trabalho, buscou-se adicionar ao sistema uma forma de realizar essa medição de forma simples, rápida e com erro controlado. A solução utilizado foi utilizar um sensor de distância a laser HL-C108B-BK (Figura 29a) da Panasonic, que possui resolução de  $2 \mu\text{m}$  e funcionamento entre 65 e 105 mm. Além de suprir a necessidade do projeto, a empresa já possuía um conjunto deste sensor, bem como seu respectivo controlador, o modelo HL-C1C-M (Figura 29b).

Figura 29 – Conjunto utilizado para medição de distância

(a) Sensor de distância a laser  
HL-C108B-BK



(b) Controlador HL-C1C-M



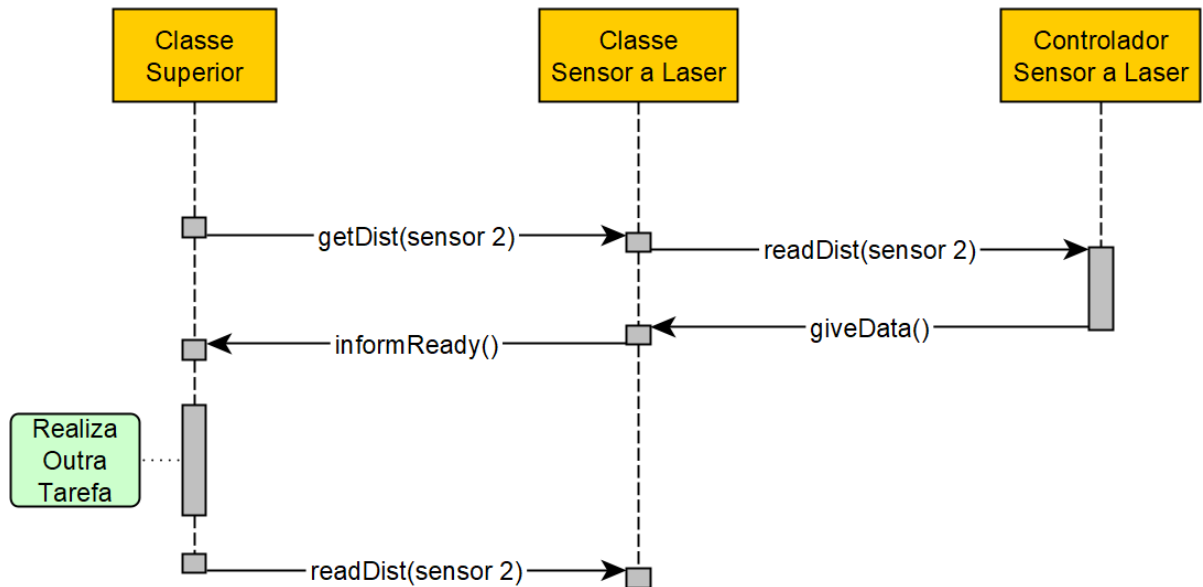
Fonte – Adaptado de Panasonic (2014).

A comunicação com o controlador dos sensores a laser utiliza interface de comunicação RS-232C, e o controlador em questão permite o controle de dois sensores simultaneamente. Dessa forma, o objetivo da classe do sensor de distância é realizar a comunicação com o controlador dos sensores a laser.

Essa classe contém os atributos mais básicos como identificação de modelo, do tipo de dado e status de cada sensor, já que é possível que ambos ou somente um dos dois estejam conectados. Dois métodos foram desenvolvidos para a obtenção dos dados de distância: um de medida única e um de realização de N medidas. Em ambos é necessário informar qual dos sensores a laser se quer realizar a medida, sendo possível requisitar medidas simultaneamente.

No diagrama de sequência da Figura 30 é possível ver o processo de aquisição de uma única medida de distância do sensor de distância.

Figura 30 – Diagrama de sequência da aquisição de uma medida



Fonte – Elaboração própria (2019).

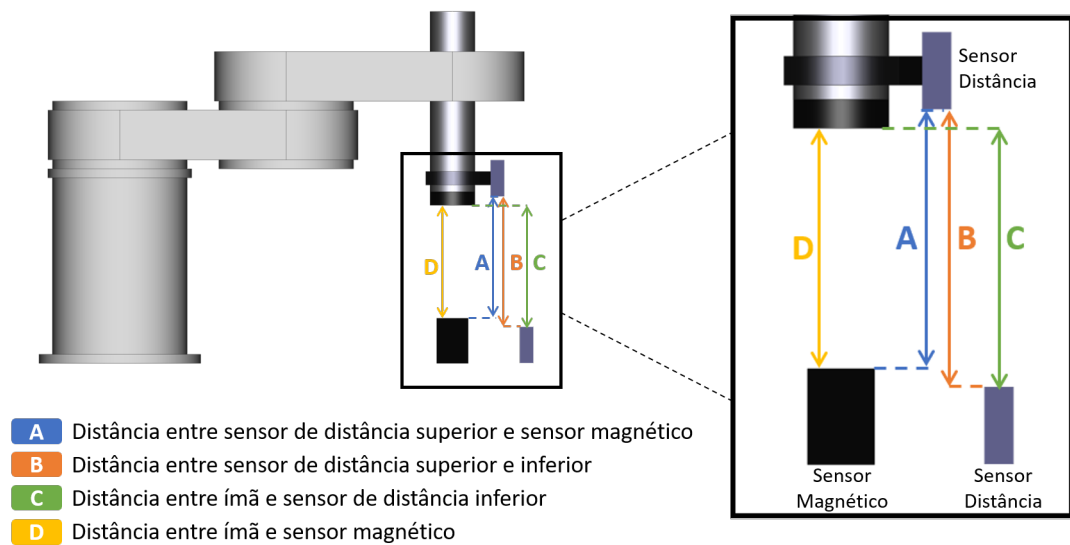
#### 4.4.1 Metodologia de medição de distância

Foi necessário a utilização dos dois sensores de distância para tornar independente a altura dos elementos a serem medidos. Seria possível utilizar apenas um sensor de distância caso fosse possível manter sensor magnético ou ímã sempre na mesma altura, através do alinhamento entre o sensor de distância e um dos elementos.

Utilizar somente um sensor de distância torna-se impraticável uma vez que diferentes suportes de ímã e sensor são utilizados no equipamento, seria necessário realizar um novo alinhamento a cada novo experimento, contrariando a simplificação da medição de distância.

A solução adotada foi a utilização de dois sensores e realização da triangulação de três medidas para obter a distância entre sensor e ímã. A Figura 31 ilustra a configuração de medição utilizada.

Figura 31 – Esquema de medição de distância entre ímã e sensor.



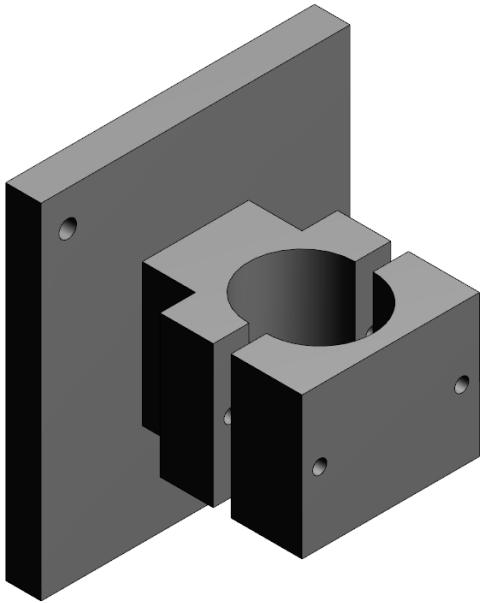
Fonte – Elaboração própria (2019).

Utilizando as medidas ilustradas na Figura 31 é possível obter a distância entre ímã e sensor magnético através da equação  $D = C - (B - A)$ .

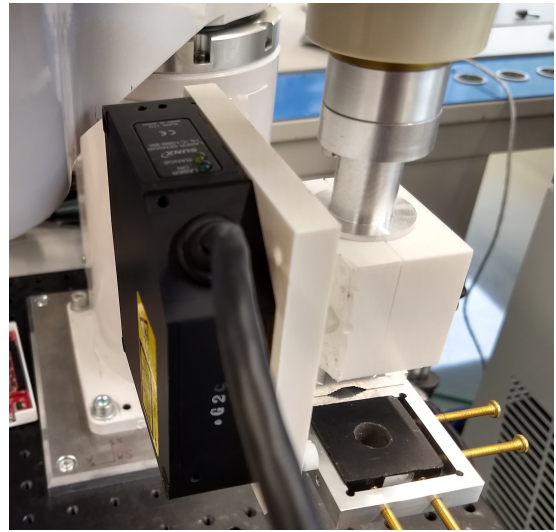
Para manter os sensores estáveis foram desenvolvidos dois suportes. O suporte para o sensor superior foi desenvolvido em SolidWorks e manufaturado em impressora 3D, uma vez que foi acoplado no braço móvel do robô e exige a adição de alguns detalhes. A Figura 32 contém o modelo 3D do suporte desenvolvido e ao lado a peça impressa.

Figura 32 – Suporte para sensor acoplado ao braço robótico

(a) Modelo 3D



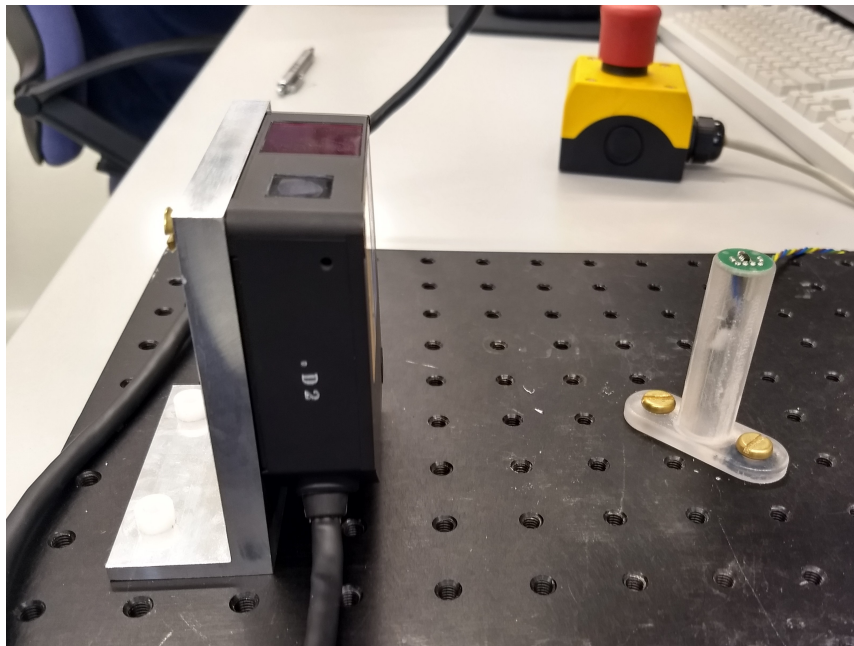
(b) Modelo Impresso



Fonte – Elaboração própria (2019).

O suporte para o sensor inferior foi construído em alumínio, uma vez que este conta com menos detalhes. Foi fixado na base do sistema e pode ser visto na Figura 33.

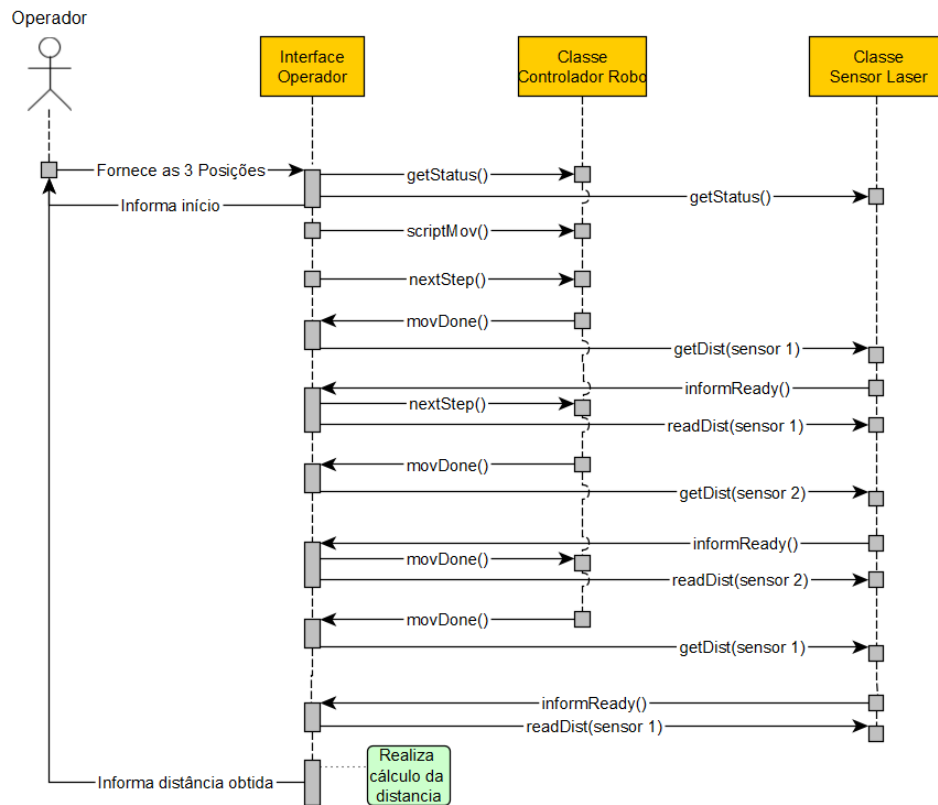
Figura 33 – Suporte para sensor de distância acoplado à base.



Fonte – Elaboração própria (2019).

Para realizar a medição da distância o operador move o braço robótico para encontrar as posições onde o laser do sensor de distância esteja na posição para medição. O operador informa então as posições de medição A, B e C ao *software* que segue a lista de passos mostrado no diagrama de sequências da Figura 34.

Figura 34 – Diagrama de sequência de obtenção da altura.



Fonte – Elaboração própria (2019).

A ferramenta de obtenção de distância mostrou-se mais rápida que o método anterior, além de mitigar as influências que o operador tem no experimento. Anteriormente era necessário uma percepção abstrata da pressão do objeto de referência para obtenção da distância. Na nova aplicação se diferentes operadores seguirem o procedimento de forma correta a distância obtida é a mesma.

Um experimento comum consiste em realizar a comparação de ímãs de mesmas características: fabricante, material, tamanho, etc. Porém como a distância entre ímã e sensor magnético influencia na magnitude do fluxo magnético é necessário garantir que os ímãs sendo comparados estejam com a mesma distância para o sensor em seus respectivos experimentos.

Para que se possa comparar dois ímãs o procedimento consiste em obter a distância entre ímã e sensor na origem do sistema de coordenadas que irá se realizar o experimento; executa-se o experimento; substitui-se o ímã que foi testado

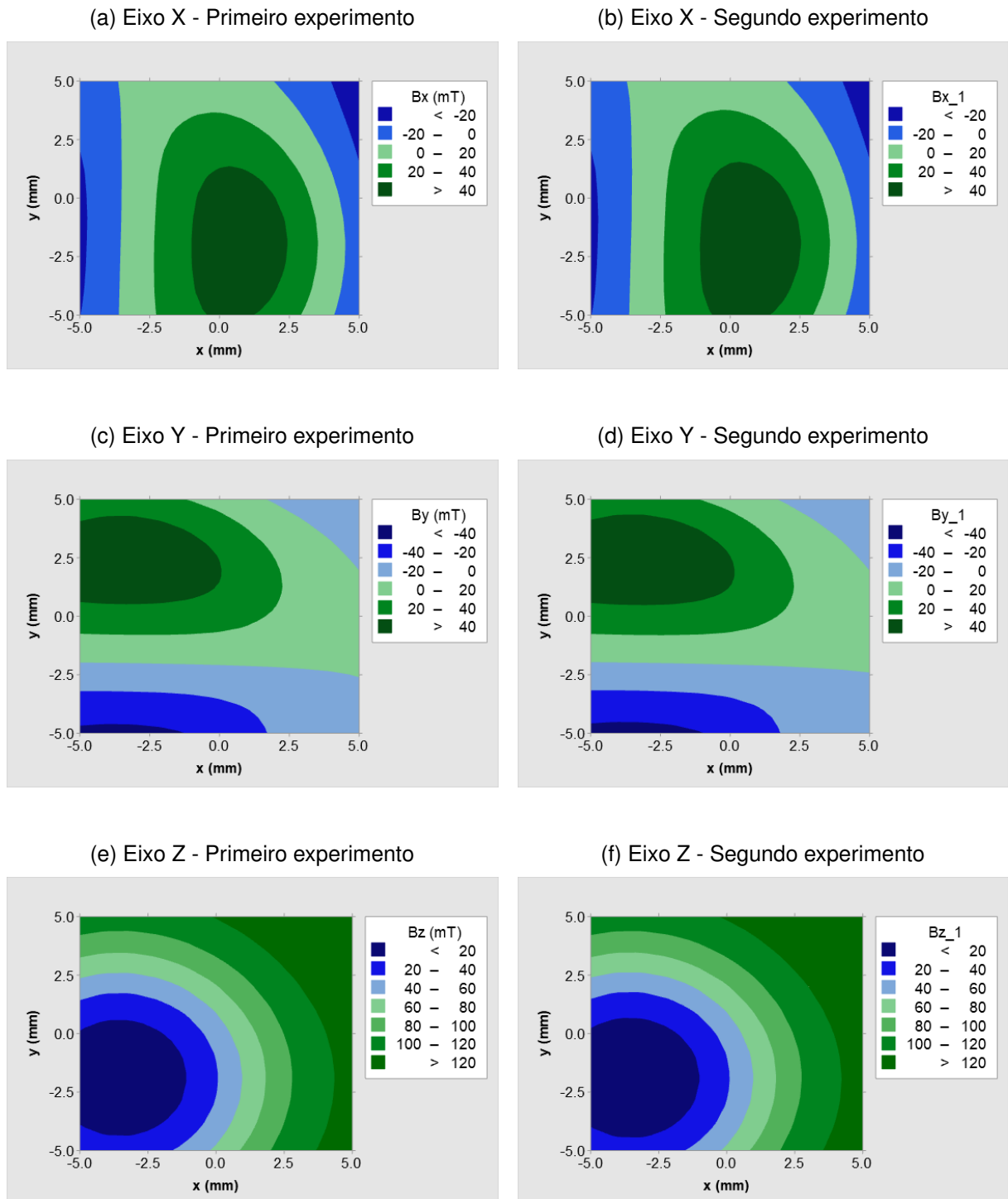
pelo próximo; obtém-se a nova distância; corrige-se a distância para a mesma do primeiro experimento; executa-se o experimento novamente.

Realizou-se esse procedimento para validar a ferramenta de medição, porém o mesmo ímã foi utilizado na etapa onde um novo deveria ser inserido. O experimento de teste utilizado consistiu em uma varredura no plano x e y variando de -5 a 5 mm com passo de 1 mm, com 50 medições por ponto, resultando 6050 medições magnéticas por experimento.

Iniciou-se o procedimento fixando o ímã e configurando a posição de origem do sistema de coordenadas relativo. Obteve-se a distância entre ímã e sensor de 2,3959 mm. Realizou-se o experimento e obteve-se o resultado ilustrado nos gráficos de contorno da coluna da esquerda da Figura 35.

O ímã foi removido do sistema e inserido novamente. Obteve-se novamente a distância entre ímã e sensor, o valor medido foi de 1,7235 mm. Corrigiu-se a origem do sistema de coordenadas 0,6724 mm para cima e realizou-se o experimento novamente. O resultado do segundo experimento está ilustrado nos gráficos de contorno da coluna da direita da Figura 35.

Figura 35 – Resultados experimentos após correção da distância.

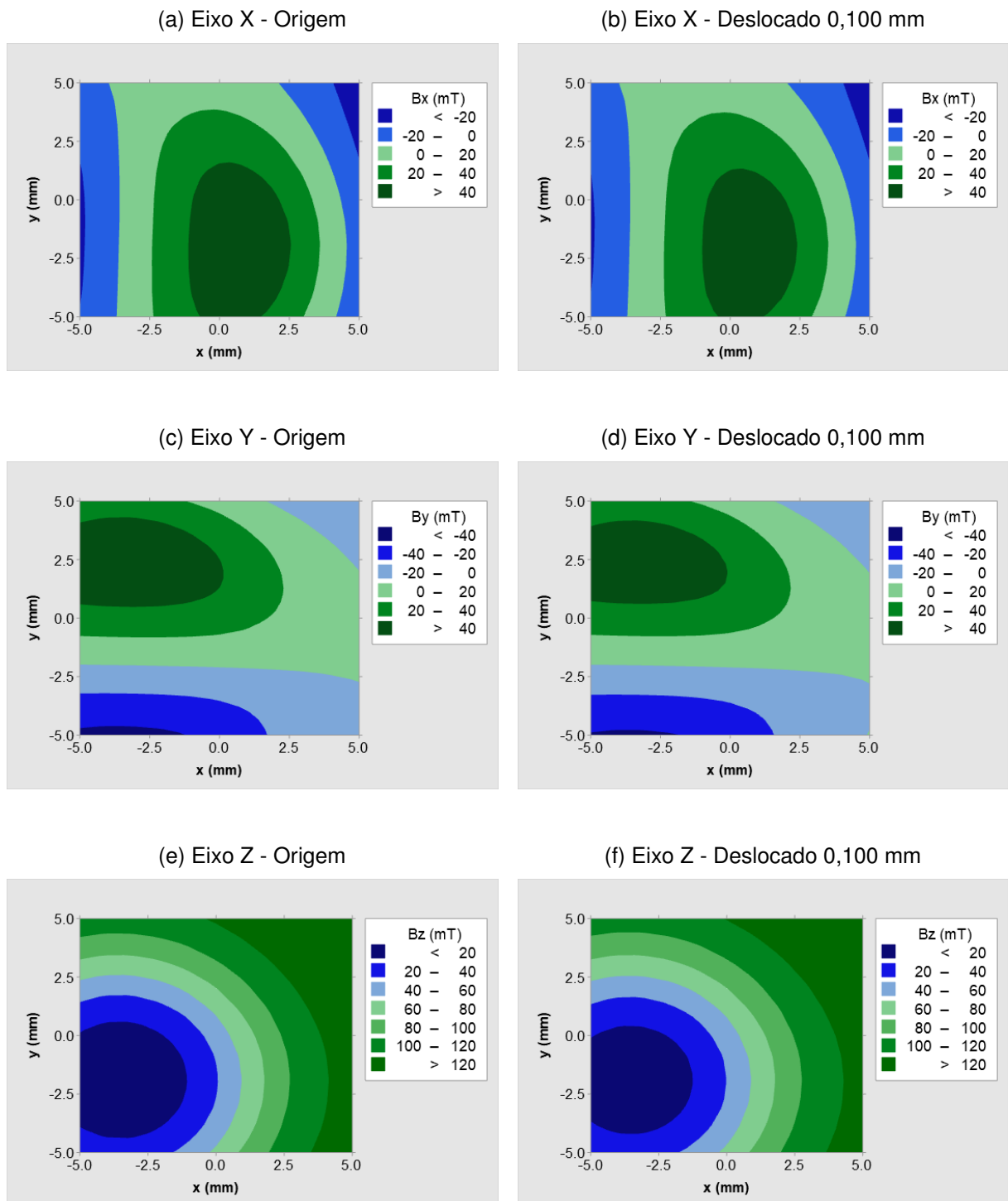


Fonte – Elaboração própria (2019).

Para comparação realizou-se o mesmo experimento porém ao invés de se remover e reposicionar o ímã alterou-se a distância em 0,100 mm, simulando um erro de posicionamento. Os gráficos de contorno da Figura 36 ilustram os resultados para a posição original e com deslocamento de 0,100 mm.



Figura 36 – Resultados experimentos com deslocamento de 0,100 mm

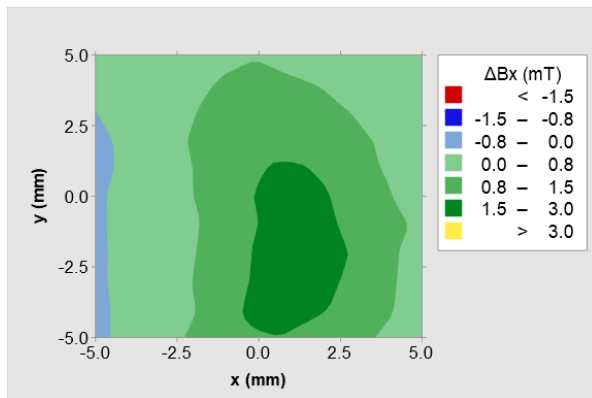


Fonte – Elaboração própria (2019).

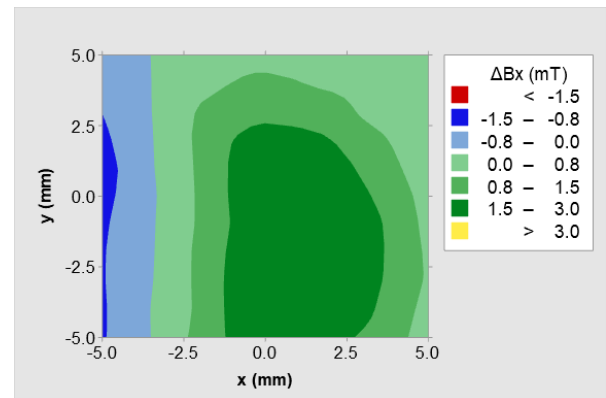
A Figura 37 contém à esquerda a diferença dos experimentos realizados com o ajuste de altura e à direita a diferença dos experimentos realizados com o deslocamento inserido propositalmente.

Figura 37 – Resultados experimentos após correção da distância.

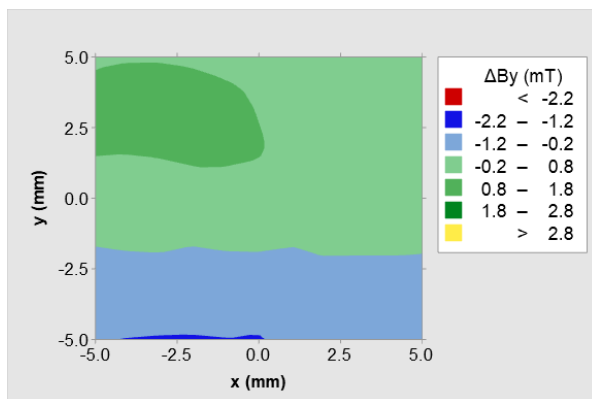
(a) Eixo X - Altura ajustada



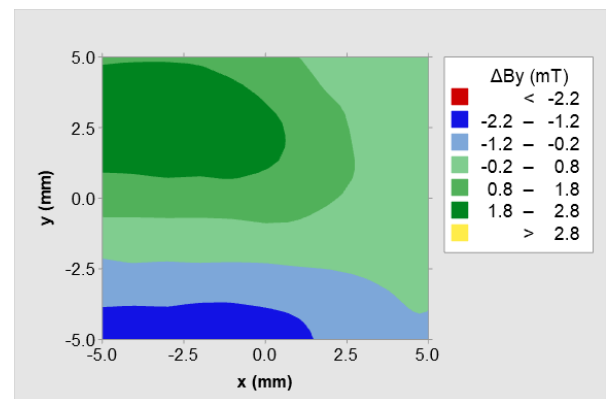
(b) Eixo X - Deslocado 0,100 mm



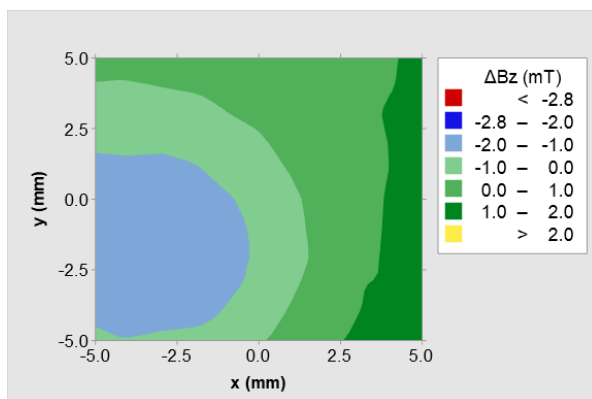
(c) Eixo Y - Altura ajustada



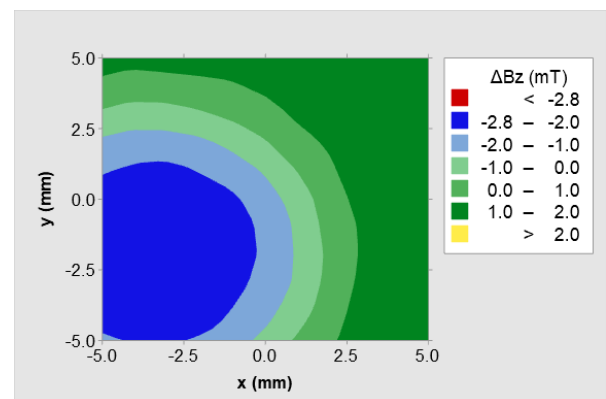
(d) Eixo Y - Deslocado 0,100 mm



(e) Eixo Z - Altura ajustada



(f) Eixo Z - Deslocado 0,100 mm



Fonte – Elaboração própria (2019).

Pode-se notar que a diferença quando o ajuste de altura foi realizado ficou abaixo da diferença de um deslocamento de 0,100 mm. Além disso é perceptível que em ambos casos a magnitude da diferença acompanha o magnitude do experimento original, indicando que em ambas situações o erro é devido a uma diferença de altura.

A diferença encontrada no primeiro conjunto de experimentos está pouco acima da diferença introduzido por questões diversas comentada na seção 4.3.1, sendo a hipótese levantada justificar esse maior a angulação do ímã no momento do posicionamento.

É importante ressaltar que o ajuste de altura realizado no primeiro conjunto de experimentos foi de 0,6724 mm, mais que seis vezes o introduzido no segundo conjunto de experimentos, demonstrando assim como é importante realizar esse ajuste de altura para que se possa realizar comparação entre ímãs.

## 5 CONCLUSÃO

Foi realizado a atualização do *software* de controle do RAMSRS que foi validado de através de testes apresentados na Seção 4.3.1. A atualização implementada, além de trazer consigo novas funcionalidades, facilita aperfeiçoamentos futuros.

A utilização de sensores de triangulação a laser como novo método de aquisição de medidas de distância se mostrou eficaz. É interessante continuar o desenvolvimento nessa área, propõe-se a substituição dos sensores utilizados por sensores de menor dimensão, uma vez que os sensores atuais acabam delimitando a área de movimento do braço robótico.

Em relação ao método de validação do sistema dos sensores de distância, percebeu-se que seria interessante realizar um experimento antes da correção de altura do ímã, podendo-se assim mostrar o efeito do erro no experimento, ao contrário do erro introduzido propositalmente como foi realizado.

Referentes aos erros encontrados no experimento de altura, foi identificado durante os experimentos realizados que além do erro referente a variação da distância entre ímã e sensor, pode existir um erro relacionado a angulação do ímã após fixação do mesmo no suporte. Sugere-se para novas pesquisas a investigação desse possível fator.

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que as alterações propostas e implementadas no decorrer do trabalho apresentaram resultados satisfatórios, cumprindo com a proposta de aperfeiçoar o processo de desenvolvimento de novos dispositivos magnéticos.

## REFERÊNCIAS

- CRAIG, J. J. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. [S.l.]: Pearson, 2014. 378 p. ISBN 1-292-04004-1. Citado na página 11.
- EPSON. *SCARA ROBOT E2C Series Manipulator Manual*. [S.l.], 2006. Rev. 6. Citado 3 vezes nas páginas 13, 14 e 15.
- EPSON. *We speak an easy language: SPEL+*. 2019. Disponível em: <<https://neon.epson-europe.com/robots?content=639>>. Acesso em: 26 jun. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 24.
- INFINEON. *TLE493D-W2B6 - Low Power 3D Hall Sensor with I2C Interface and Wake Up Function*. [S.l.], 2019. Ver. 1.2. Citado na página 21.
- MCCLOY, D.; HARRIS, D. M. J. *Robotics: An Introduction*. [S.l.]: Springer Science, 1986. 319 p. (Open University Press Robotics Series, 15). Bibliografia: p. 131–132. ISBN 978-94-010-9754-3. Citado na página 11.
- MTI INSTRUMENTS. *Laser Triangulation Sensors*. Disponível em: <<https://www.mtiinstruments.com/technology-principles/laser-triangulation-sensors>>. Acesso em: 26 jun. 2019. Citado na página 19.
- PANASONIC. *Ultra High-speed Laser Displacement Sensor. HL-C1 Series*. 2014. Disponível em: <[https://www3.panasonic.biz/ac/ae/dl/catalog/index.jsp?series\\_cd=1646](https://www3.panasonic.biz/ac/ae/dl/catalog/index.jsp?series_cd=1646)>. Citado na página 41.
- RIBEIRO, M. Robot-aided magnetic sensors readout suit. *2015 9th International Conference on Sensing Technology (ICST)*, Auckland, New Zealand, p. 1–5, 2015. ISSN 2156-8073. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7438488>>. Acesso em: 26 jun. 2019. Citado 5 vezes nas páginas 9, 11, 14, 16 e 18.
- WIESE, D. R. Laser triangulation sensor: A solution to noncontact, high-speed dimensional gaging and inspection. *Quality 1989*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 28, p. 131–148, 1989. Citado na página 19.
- WINSON, M. *Implementation of ROBOT SYSTEMS: An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*. [S.l.]: Elsevier Inc, 2015. 230 p. ISBN 978-0-124-04733-4. Citado 3 vezes nas páginas 11, 12 e 13.

Anexos

**ANEXO A – INTERFACE GRÁFICA DESENVOLVIDA PARA O RAMSRs.**

# Robot-Aided Magnetic Sensors Readout Suit Controller

Close M/S Communication

Robot power:   Set power

Robot speed:   Set speed

Current status

**Master/slave comm.:** Normal comm

**Robot power:** Low power mode

**Robot speed:** 25%

**Step size:** 1 mm

**Coord. system in use:** Relative

**Current coordinates:** BBM\_Home

X: 10    Y: 10    Z: 0    U: 0

Navigation

Robot Ctrl   P. Sweeps   Scripts

Redefine coordinates

BBM\_Home Load    Delete

Back to Absolute Coordinates

New File Save

**Current Range Limits:**

Max: 80    347    10    510

Min: -80    160    -79    -200

**Change Range Limits:**

Max: ± X ± Y ± Z ± U Change

Min: ± X ± Y ± Z ± U

Robot routine Progress:

Sensor samples progress:

Sensor Config    Console

Select sensor type: 3D (Infineon TLE493D) Select

Select communication port: COM8 Init

Single    Start Polling Data    Close

Current status

**Sensor status:** Running

**Current sensor readout:**

Bx: -81.54 - By: -18.91 - Bz: -8.33

Measure Trigger

Number of samples to measure: 100

Force time between samples (ms) 15

Trigger measurement sequence

Auto calibration

Disable X: (mT)     Disable Y: (mT)     Disable Z: (mT)

Field X: (mT)    Field Y: (mT)    Field Z: (mT)

Range X: (mT)    Range Y: (mT)    Range Z: (mT)

Min X: (mm)    Max X: (mm)    Step X: (mm)

Min Y: (mm)    Max Y: (mm)    Step Y: (mm)

Min Z: (mm)    Max Z: (mm)    Step Z: (mm)

Samples per step: 20 Start auto calibration

Sensor Config    Sensor Distance Measure    Magnet Tilt Measure

Select communication port:   Init

Graph

Show Raw Data     Show Processed Data    Y axis (max):      Y axis (min):      Number of visible points:  
Save    Clear

© T R

CENTRUM TECH RESEARCH

16.07.2018 08:06:31