

DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DO BUSCA-PITE. UM  
EQUIPAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DE PITES DE  
CORROSÃO EM CUPONS.

**DANIEL CORREA MANHAES**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2015



DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DO BUSCA-PITE. UM  
EQUIPAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DE PITES DE  
CORROSÃO EM CUPONS.

**DANIEL CORREA MANHAES**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Orientador: Prof. D.Sc. Angelus Giuseppe Pereira da Silva

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2015

DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DO BUSCA-PITE. UM  
EQUIPAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DE PITES DE  
CORROSÃO EM CUPONS.

**DANIEL CORREA MANHAES**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Aprovada em 06 de março de 2015.

Comissão Examinadora:

---

Prof. Ronaldo Paranhos da Rocha (D.Sc., Engenharia e Ciência dos Materiais) –  
UENF

---

Prof. Marcello Filgueira (D.Sc., Engenharia e Ciência dos Materiais) – UENF

---

Prof. Ítalo de Oliveira Matias (D.Sc., Sistemas Computacionais) – UCAM

---

Prof. Angelus Giuseppe Pereira da Silva (D.Sc., Ciências Técnicas) – UENF  
Orientador

“Dizem que todo edifício é construído pedra sobre pedra, e o mesmo pode ser dito sobre o conhecimento, extraído e compilado de muitos homens estudiosos, cada um constrói sobre o trabalho daqueles que o antecederam.”

George R. R. Martin

## DEDICATÓRIA

À minha mãe.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Angelus pela paciência e dedicação na orientação.

Agradeço a minha amiga Ianne Nogueira que sem o apoio eu não estaria no projeto.

Ao professor Ítalo, a Elaine, Geanni, Marcelo Romeu, Roberto, Gustavo e a todos os outros que em algum momento colaboraram neste trabalho.

Ao Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé pelo incentivo à qualificação de seus servidores.

Resumo da dissertação apresentada ao CCT-UENF como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

## **DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DO BUSCA-PITE. UM EQUIPAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DE PITES DE CORROSÃO EM CUPONS.**

**Daniel Corrêa Manhães**

06 de Março de 2015

**Orientador: Prof. Angelus Giuseppe Pereira da Silva**

A corrosão é o processo de deterioração de um material, geralmente metais, por decorrência de uma reação química ou eletroquímica entre este e o meio. O impacto dos gastos decorrentes do aparecimento da corrosão, sejam esses diretos ou indiretos na economia, são consideráveis. Dentre as diversas formas de corrosão, a corrosão por pites é considerada uma das mais graves. Cupons de corrosão são corpos de prova metálicos utilizados para a análise de um processo corrosivo. O Petrocorrosão é um software capaz de identificar a partir de uma imagem a quantidade de pites presentes, a área de cada pite, a área média de pite e a densidade de pites em uma determinada região de um cupom. O Petrocorrosão no entanto não é capaz de medir a profundidade dos pites, uma das características mais importantes deste tipo de corrosão. Este trabalho trata do desenvolvimento e montagem da máquina Busca-Pite, que trabalha de forma integrada ao software Petrocorrosão. Ela permite a aquisição de imagem dos cupons por meio de uma câmera fotográfica digital integrada a um microscópio; o deslocamento do cupom, que por sua vez, é realizado utilizando uma mesa XY. Por último ela permite a medição da profundidade dos pites encontrados por meio de um sensor ótico do tipo confocal. Testes realizados mostraram que a máquina Busca-Pite foi capaz de obter resultados consistentes na caracterização da corrosão por pites em cupons de corrosão em comparação com as outras técnicas utilizadas, se mostrando mais rápido, permitindo a aquisição de mais dados em um menor período de tempo.

Palavras chave: corrosão por pites, sensor confocal, mesa XY, caracterização de pites

Abstract of dissertation presented to CCT-UENF as part of the requirements for obtaining the Master Degree in Materials Science and Engineering.

**DEVELOPMENT AND ASSEMBLING OF BUSCA-PITE. AN EQUIPMENT FOR THE CHARACTERIZATION OF PITTING CORROSION IN COUPONS.**

**Daniel Corrêa Manhães**

March 6<sup>th</sup>, 2013

**Advisor: Prof. Angelus Giuseppe Pereira da Silva**

Corrosion is the deterioration of a material, usually metal, as result of a chemical or electrochemical reaction between it and the environment. The impact of the expenses arising from the onset of corrosion, whether direct or indirect in the economy, are considerable. Among the various forms of corrosion, pitting corrosion is considered one of the most serious. Corrosion coupons are metal specimens used in analysing a corrosive process. Petrocorrosão is a software capable of identifying from an image the amount of present pits, each pit area, the average pit area and pitting density on a region of a coupon. However, The Petrocorrosão is not capable of measuring the depth of pits, one of the most important features of this type corrosion. This work deals with the development and assembly of Busca-Pite machine, which works integrated to Petrocorrosão software. The machine allows the acquisition of the image of the coupons through a digital camera integrated to a microscope; the displacement of the coupon, which is, in turn, accomplished using an XY table. Finally it allows the measurement of the depth of the pits found through a confocal optical sensor. Tests have shown that the Busca-Pite machine was able to get consistent results for characterizing pitting corrosion in corrosion coupons in comparison to other techniques used, appearing more quickly, allowing the acquisition of more data in a shorter period of time.

Key words: pitting corrosion, confocal sensor, XY table, pitting characterization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Classificação da corrosão quanto a sua morfologia (Ponte, 2003). ....	20
Figura 2.2 – Corrosão por pites em aço inoxidável. (Ponte, 2003).....	21
Figura 2.3 – Formatos possíveis dos pites. (ASTM - G46-94, 2005).....	22
Figura 2.4 – Exemplo de um cupom de corrosão a) antes do ensaio b) após o ensaio e sem ter passado pelo processo de limpeza c) cupom pós ensaio após processo de limpeza. (Silveira, et al., 2014) .....	23
Figura 2.5 – Princípio de funcionamento do sensor confocal. (Micro-epsilon, 2015).	25
Figura 2.6 – Cada feixe de luz possui um ponto de foco diferente da outra. (Nanovea, 2014).....	26
Figura 2.7 – Tela principal do programa (Nogueira, 2013).....	28
Figura 2.8 – Resultado da aplicação do operador de borda (Nogueira,2013). ....	29
Figura 2.9 – Tela de preenchimento de informações da escaça (Nogueira,2013). ...	30
Figura 2.10 – Imagem binarizada com limiar de 70 (Nogueira, 2013).....	30
Figura 2.11 – Histograma da distribuição do tamanho dos pites. (Nogueira,2013) ...	31
Figura 2.12 – Tela com análise dos pites identificados (Nogueira, 2013) .....	32
Figura 3.1 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.....	33
Figura 3.2 – Mesa XY modelo LNE 250 na Newmark Systems. (Newmark Systems,2014) .....	34
Figura 3.3 – a) Controlador da mesa XY. b) Joystic. (Newmark Systems,2014).....	35
Figura 3.4 – Software Galil Tools. (Newmark Systems,2014) .....	36
Figura 3.5 – Conjunto controlador/sensor confocal ligados por fibra ótica (Micro-epsilon, 2015).....	37
Figura 3.6 – Funcionamento da medição do sensor confocal (Micro-epsilon, 2015).	37
Figura 3.7 – Camera Canon Rebel T3i (Canon,2015).....	38
Figura 3.8 – Microscópio estereoscópio (National Optical, 2015). ....	39
Figura 3.9 – Adaptador câmera/microscópio (Microscope World, 2015).....	40
Figura 3.10 – Fonte de luz MW150R.....	40
Figura 3.11 – Roteador TPLink (TP-Link, 2014).....	41
Figura 3.12 - Rack 16U Fabricante Nilko(Nilko,2014). ....	41
Figura 3.13 – Estrutura metálica construída para o projeto.....	42
Figura 3.14 – Parte superior da máquina. ....	43
Figura 3.15 – Suporte do conjunto ótico e do sensor. ....	44
Figura 3.16 – Suporte da fonte de luz. ....	44

Figura 3.17 – Rack localizado na prateleira central.....	45
Figura 3.18 – Base da estrutura metálica da máquina. ....	45
Figura 3.19 – Esquema de comunicação entre os dispositivos da máquina. ....	46
Figura 3.20 - Visualização do cupom em tempo real pelo PETROCORROSÃO.....	47
Figura 3.21 – Vetor distância CAL que indica a distância entre o ponto central apresentado na imagem e o ponto de leitura do sensor. ....	51
Figura 3.22 – Comportamento dos pixels na imagem e a distância entre pontos aleatórios do ponto central da imagem. ....	52
Figura 3.23 – Determinação da profundidade do pite. ....	54
Figura 3.24 – Varredura de uma determinada área selecionada pelo operador. ....	55
Figura 3.25 – Exemplo de arquivo_medicoes_ONFLY gerado. ....	57
Figura 3.26 – Exemplo de arq_gera_imagem. ....	58
Figura 3.27 – Fluxograma da lógica de operação/funcionamento da máquina. ....	59
Figura 4.1 – Cupom fixado na mesa XY.....	61
Figura 4.2 – Pite centralizado no EOS Utility.....	61
Figura 4.3- Pite alocado no ponto de incidência do feixe de luz.....	62
Figura 4.4-Área do pite sendo selecionada para a varredura. ....	63
Figura 4.5 – Régua visualizado a olho nu. ....	64
Figura 4.6- Régua visualizada pelo software.....	65
Figura 4.7 – Janela de determinação da escala.....	66
Figura 4.8 – Especificando a escala a ser utilizada.....	67
Figura 4.9 – Pites selecionados pelo software. ....	68
Figura 4.10 – Tela que habilita a medição da profundidade dos pites. ....	69
Figura 4.11-Relatório final do programa com a medição da profundidade. ....	69
Figura 4.12 –Pites encontrados em uma determinada seção do cupom.....	70
Figura 4.13 – Pites selecionados no software PETROCORROSÃO.....	71
Figura 4.14 – Área dos pites. ....	72
Figura 4.15 – Gráfico com profundidade dos pites.....	73
Figura 4.16 – Pite selecionado para varredura.....	77
Figura 4.17 – Planilha com os valores de distância obtidos.....	78
Figura 4.18- Gráfico gerado em excel da vista superior do pite. ....	79
Figura 4.19 – Gráfico que mostra os dois níveis de valores na superfície e no fundo do pite. ....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas da mesa XY LNE 250. ....	34
Tabela 2 – Especificações técnicas do sensor confocal. ....	38
Tabela 3 – Especificações técnicas câmera Canon Rebel T3i.....	39
Tabela 4 – Área dos pites utilizando as diferentes técnicas.....	71
Tabela 5 – Profundidade dos pites utilizando as três técnicas. ....	73
Tabela 6 – Tempo médio de caracterização pelo Método Busca-Pite. ....	74
Tabela 7 – Tempo médio de caracterização pelo método convencional. ....	75
Tabela 8 - Tempo médio de caracterização pelo Método Microscópio Confocal. ....	75

## SUMÁRIO

EPÍGRAFE.....	iv
DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
RESUMO .....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	16
1.1 – Objetivo.....	17
1.2 – Justificativa .....	18
1.3 – Organização .....	18
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1 – Corrosão.....	19
2.1.1 – Aspectos econômicos da corrosão.....	19
2.1.2 – Classificação dos tipos de corrosão.....	20
2.1.2.1 – Classificação da Corrosão Quanto à Morfologia.....	20
2.1.2.2 – Corrosão por pites.....	21
2.1.3 – Caracterização da Corrosão por Pites .....	22
2.1.3.1–Normas Aplicadas à Caracterização da Corrosão em Cupons	23
2.1.3.1.1 – Norma ABNT NBR 6210.....	23
2.1.3.1.2 – Norma NACE RP07 .....	24
2.1.3.1.3 – Norma ASTM G-46.....	24
2.2 – Sensor Confocal.....	25
2.3 – Mesa de Coordenada XY.....	26
2.4 – A Tecnologia Confocal na Caracterização de Cupons de Corrosão.....	27
2.5 – O Software Petrocorrosão.....	28
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA .....	33
3.1 – Ferramentas utilizadas.....	34
3.1.1 – Mesa XY – Newmark Systems modelo NLE 250.....	34
3.1.2 – Sensor confocal.....	36

3.1.3 – Câmera Fotográfica Digital Canon Rebel T3i.....	38
3.1.4 – Microscópio óptico Fabricante National modelo 420t.....	39
3.1.5 – Adaptador da Câmera Canon Modelo SLR para Microscópio.....	39
3.1.6 – Fonte de Luz modelo MW150R.....	40
3.1.7 – Roteador .....	41
3.1.8 – Rack .....	41
3.1.9 – Estrutura Metálica de Máquina.....	42
3.1.10 – Software Petrocorrosão .....	42
3.2 – Ligação física dos dispositivos. ....	43
3.3 – Esquema de comunicação entre os dispositivos. ....	46
3.4 – Recursos de Software .....	46
3.4.1 – Aquisição das Imagens .....	47
3.4.2 – Movimento da Mesa Via Joystic.....	47
3.4.3 – Correção do Posicionamento da Mesa .....	48
3.4.4 –Lógica de Conversão Posição da Imagem para Posição da Mesa.....	50
3.4.5 – Aquisição e Tratamento dos Dados de Leitura.....	54
3.4.6 – Cálculo da Profundidade .....	54
3.4.7 – Varredura de Área.....	55
3.4 – Modos de Operação .....	58
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.1 – Calibragem da Máquina.....	60
4.1.1 – Calibragem Inicial.....	60
4.1.2 – Calibragem Fina.....	63
4.1.3 – Calibragem da Escala .....	64
4.2 – Operação da Máquina .....	66
4.2.1 – Caracterização dos Pites .....	66
4.2.2 – Modo Scanner 3D .....	69
4.3 – Testes de Operação do Método Busca-Pite .....	70
4.3.1 – Comparação entre a Área dos Pites .....	71
4.3.2 – Comparação da Profundidade dos Pites.....	72
4.3.3 – Tempos de Medição .....	73

4.3.4 – Teste do Modo Scanner.....	76
4.4 – Resultados dos Testes .....	80
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....	82
CAPÍTULO 6 – TRABALHOS FUTUROS.....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

A corrosão é definida como uma deterioração de um material, geralmente metálico, por conta da interação deste com o meio em que está envolto. O processo de deterioração pode ser por consequência de reações químicas ou eletroquímicas e ter a influência ou não de esforços mecânicos. Trata-se de um processo de constantes transformações, que pode gerar consequências indesejadas, como desgaste e variações químicas e estruturais, que podem inviabilizar a utilização do material para sua função inicial (Gentil, 1996).

Os metais e suas ligas são aplicados em uma infinidade de áreas da vida moderna. Áreas como a construção civil, transportes e petróleo utilizam estes materiais em suas aplicações. Somente nos Estados Unidos, de acordo com estudos realizados no ano de 2002, era estimado que os custos diretos decorrentes da corrosão estavam em 276 bilhões de dólares (cerca de 3,1% do PIB norte-americano). O estudo da corrosão e das formas de preveni-la podem acarretar em bilhões de dólares economizados pela diminuição dos prejuízos causados pelo aparecimento da mesma (NACE International, 2005).

A corrosão pode se apresentar de diversas formas, e a sua classificação pode ser de acordo com a natureza do meio corrosivo, pelo mecanismo de corrosão e pela morfologia da corrosão. A classificação pela morfologia é particularmente a mais útil quanto a análise de falhas dos materiais (Davis, 2000). A corrosão por pites ou puntiforme, é uma das formas mais graves de corrosão, por não guardar relação entre a quantidade de material afetado e os danos causados, além de ser de difícil identificação (Ponte, 2003).

A monitoração da corrosão permite compreender a forma como o processo corrosivo ocorre. Na indústria, é bastante difundida a utilização de cupons de corrosão, uma das técnicas de monitoração existentes, onde um corpo de prova é posto no ambiente corrosivo por um determinado tempo e depois analisado (Ferreira, *et. al.*, 2002).

No caso dos cupons que apresentam corrosão por pites, várias técnicas de análise posterior podem ser utilizadas para sua caracterização. As técnicas convencionais costumam ser bastante trabalhosas e demandam muito tempo. O Software Petrocorrosão foi desenvolvido, em uma parceria entre UENF e Petrobras, com o objetivo de caracterizar os cupons de acordo com as normas existentes. O programa faz uso de técnicas da computação gráfica e processamento de imagem. O software é capaz de determinar o número de pites, a área, distribuição de tamanho e densidade de pites, mas não é capaz de definir uma das características mais importantes do pite, que é a sua profundidade (Nogueira, 2013).

Este trabalho consiste no desenvolvimento de uma máquina que, atrelada ao software supracitado, é capaz de medir a profundidade dos pites em cupons de corrosão, utilizando a tecnologia ótica confocal. O sistema completo, composto pelo software petrocorrosão e pelo hardware aqui desenvolvido, devidamente integrados recebe o nome de Busca-pite.

## **1.1 – Objetivo**

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de uma máquina capaz de medir a profundidade dos pites em um cupom de corrosão, utilizando a tecnologia de sensor confocal de forma integrada ao software Petrocorrosão, de forma a produzir relatórios de caracterização da amostra de maneira semiautomática. São também objetivos deste trabalho:

- Integrar através de software: dispositivos de captação de imagem, medição de distância e deslocamento dos cupons.
- Fazer o tratamento dos dados de leitura para identificar e corrigir dados não confiáveis.
- Desenvolver uma estratégia de varredura de uma determinada área da amostra capaz de produzir uma nuvem de pontos que permitam a visualização gráfica da região.

## 1.2 – Justificativa

Segundo (Davis, 2000), aproximadamente 300 bilhões de dólares são gastos por ano somente nos Estados Unidos por conta da corrosão, sendo que 1/3 deste valor poderia ser economizado se fossem utilizados os materiais corretos e técnicas de combate à corrosão. (Ferreira, *et. al.*, 2002) afirma que a monitoração da corrosão é uma ação importante para a compreensão deste processo e para produzir dados úteis para o controle e os problemas decorrentes desta. Diversos métodos de caracterização podem ser utilizados, mas determinar a profundidade dos pites tem-se mostrado uma tarefa que demanda muito esforço e tempo por meio das técnicas tradicionais. Assim, o desenvolvimento de uma máquina que seja capaz de determinar a profundidade destes pites, em um tempo reduzido, por um custo inferior, terá uma grande utilidade para a indústria e pesquisa na área de corrosão.

## 1.3 – Organização

Além desta Introdução, esse trabalho se divide nos seguintes capítulos:

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: Esse capítulo descreve o embasamento teórico dos assuntos principais deste trabalho: corrosão, e a fundamentação teórica do funcionamento dos dispositivos utilizados para o desenvolvimento da máquina.

Capítulo 3 – Metodologia: Esse capítulo apresenta as ferramentas e tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste projeto.

Capítulo 4 – Resultados e Discussão: Este capítulo demonstra a operação da calibração e operação da máquina, a produção de testes e a comparação dos resultados com os apresentados por outras técnicas.

Capítulo 5 – Conclusão e Trabalhos Futuros: Este capítulo apresenta a conclusão do projeto e propostas para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este Capítulo apresenta o referencial teórico que embasa o trabalho de dissertação.

#### 2.1 – Corrosão

A corrosão é definida como a deterioração de um determinado material, geralmente metálico, por consequência de uma reação química ou eletroquímica deste com o meio no qual está em contato (Gentil, 1996). Isto ocorre pela tendência que todo sistema físico possui de retornar ao seu estado de menor energia. Por exemplo, o ferro presente no aço possui a tendência a reagir com átomos de oxigênio e água, resultando em óxido de ferro hidratado, que possui uma composição química semelhante a do minério de ferro encontrado na natureza (Davis, 2000)

##### 2.1.1 – Aspectos econômicos da corrosão.

Os metais e suas ligas são aplicados em uma infinidade de áreas comuns à vida moderna como a construção civil, a indústria do transporte, petrolífera entre outras (Merçon, *et. al.*, 2004).

Todos os metais e suas ligas estão sujeitos à corrosão. A maioria dos componentes metálicos deteriora-se com o uso em exposição com ambientes oxidantes ou corrosivos (Ferreira, *et. al.*, 2002). Segundo Gentil (Gentil, 1996), este processo pode resultar em alterações indesejadas nos materiais que acarretam na impossibilidade dos mesmos continuarem sendo aplicados nos meios aos quais se destinam.

Estudos realizados entre 1999 e 2001 (Koch, Brongers, & Thompson, 2001) indicam que somente nos Estado Unidos são gastos 276 bilhões de dólares por ano, cerca de 3,1% do PIB, em decorrência das perdas diretas causadas pela corrosão. Entre as consideradas diretas estão substituição de peças, manutenção dos processos de proteção, etc. Isto sem contar com os valores gastos com perdas indiretas

como: paradas indesejadas, perda de eficiência, contaminação de produtos, entre outros. Não é possível eliminar esses custos por completo, mas o mesmo estudo estima que com a aplicação das técnicas corretas de controle de corrosão este custo poderia ser reduzido em 30%.

## 2.1.2 – Classificação dos tipos de corrosão.

Segundo (Ferreira, *et. al.*, 2002), a corrosão pode ser quanto a sua morfologia, causas ou mecanismos, fatores mecânicos, o meio corrosivo ou a localização do ataque.

### 2.1.2.1 – Classificação da Corrosão Quanto à Morfologia.

A classificação quanto à morfologia é particularmente útil para análise de falhas mecânicas. Ela é baseada na identificação da forma como a corrosão se apresenta por visualização a olho nu ou com auxílio de um microscópio (Davis, 2000). Quanto a sua morfologia a corrosão pode ser: uniforme, por placas, alveolar, por pites, intergranular, filiforme, por esfoliação, gráfitica, dezincificação, em torno do cordão de solda e por empolamento por hidrogênio. As diferentes classificações são mostradas na Figura 2.1.



Figura 2.1 – Classificação da corrosão quanto a sua morfologia (Ponte, 2003).

### 2.1.2.2 – Corrosão por pites.

A corrosão puntiforme ou por pites é uma forma de corrosão localizada que consiste na formação de cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade, geralmente, maior do que o seu diâmetro. Ocorre em determinados pontos da superfície, enquanto que o restante pode permanecer praticamente sem ataque (Galvele, et al., 1978) (Gentil, 1996) (Ferreira, et al., 2002).

A corrosão por pites pode ser iniciada por um pequeno defeito de superfície, como um arranhão ou uma alteração local na composição, ou um dano à camada protetora. Superfícies polidas mostram maior resistência a esta corrosão (Quiumento, 2011). De acordo com (Pereira, 2010), é importante destacar que nem todo defeito nucleia pite, mas quanto maior o número de defeitos maior o número de pites. Para um material livre de defeitos, a corrosão por pite é causada predominantemente pela química do ambiente em que este se encontra, o qual podem conter espécies químicas agressivas como o íon cloreto (Picon, 2010) (Quiumento, 2011).

O pite é uma das formas mais destrutivas e insidiosas de corrosão. Causa a perfuração de equipamentos, com apenas uma pequena perda percentual de peso de toda a estrutura. É, geralmente, difícil de detectar pelas suas pequenas dimensões e porque os pites são, frequentemente, escondidos pelos resíduos da corrosão (Dexter, 1987) (Ferreira et al., 2002).



Figura 2.2 – Corrosão por pites em aço inoxidável. (Ponte, 2003)

A norma (ASTM - G46-94, 2005) indica que em visão transversal um pite pode apresentar os formatos apresentados na Figura 2.3.

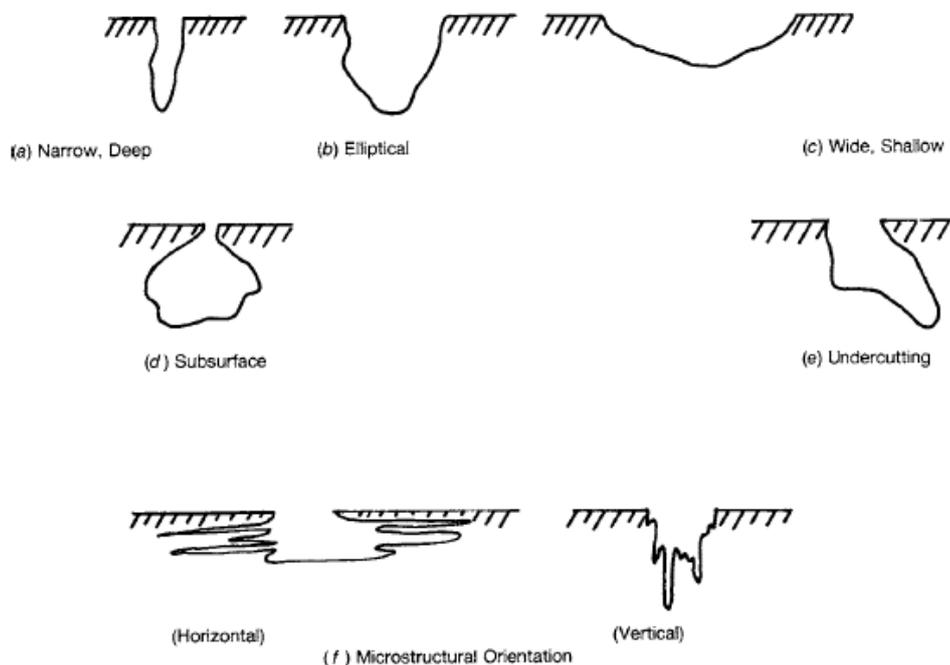


Figura 2.3 – Formatos possíveis dos pites. (ASTM - G46-94, 2005)

### 2.1.3 – Caracterização da Corrosão por Pites

Segundo (Ribeiro, et al., 2005), a corrosão por pites e suas características morfológicas são aspectos importantes para serem considerados nos componentes sujeitos a solicitações mecânicas em ambientes corrosivos devido a sua influência sobre a nucleação de microtrincas de fadiga.

Para analisar esses fatores, a monitoração da corrosão se apresenta como uma forma de auxiliar a compreensão do processo corrosivo e obter informações úteis sobre sua ocorrência (Ferreira, et al., 2002).

A utilização de cupons de corrosão é a mais simples de todas as técnicas de monitoração. Cupons de corrosão (Figura 2.4) são corpos de prova metálicos de formatos e materiais diversos que são dispostos em locais específicos de uma instalação metálica (tubulações e tubos em operação) e expostos ao meio corrosivo por um determinado período. Após isto, são enviados para laboratório para análise (Pereira, et al., 2013).

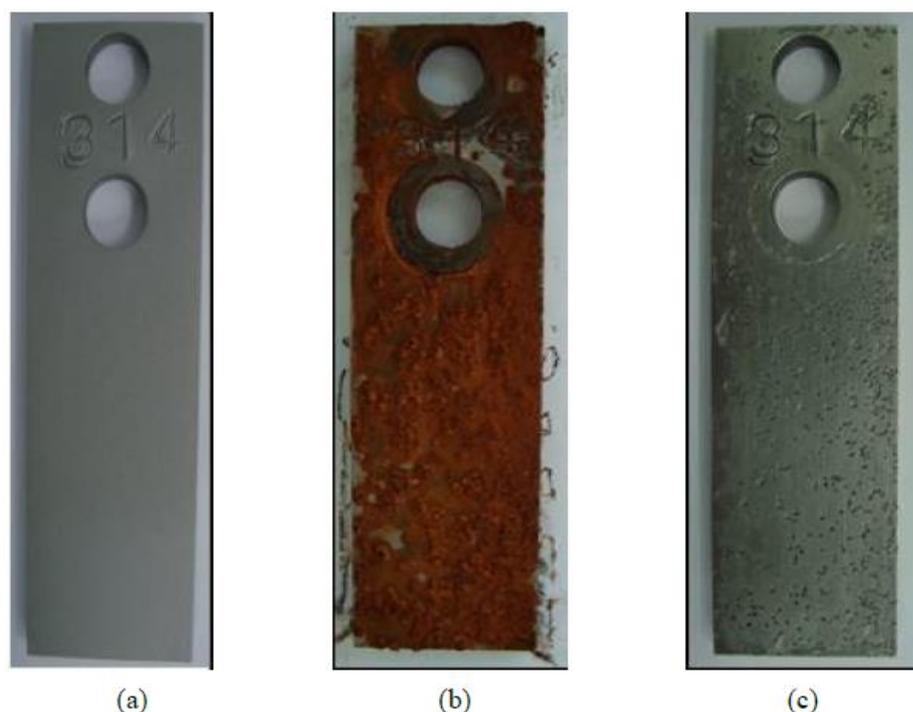


Figura 2.4 – Exemplo de um cupom de corrosão a) antes do ensaio b) após o ensaio e sem ter passado pelo processo de limpeza c) cupom pós ensaio após processo de limpeza. (Silveira, et al., 2014)

### 2.1.3.1 – Normas Aplicadas à Caracterização da Corrosão em Cupons.

Algumas normas se aplicam à caracterização de corrosão em cupons, mais especificamente a corrosão em forma de pites e em ambientes da indústria petrolífera, são elas: a (NACE International, 2005), a (ABNT 6210 NBR., 2008) e a (ASTM - G46-94, 2005).

#### 2.1.3.1.1 – Norma ABNT NBR 6210.

A norma (ABNT 6210 NBR., 2008) especifica as ações sobre o preparo dos corpos-de-prova antes do ensaio, como: tipo de corte e identificação, limpeza pré-ensaio, caracterização e armazenamento. A norma apresenta também métodos de limpeza dos cupons pós ensaio. Estes métodos podem ser químico ou eletrolítico, precedidos de uma limpeza mecânica por meio de uma escova de cerdas macias. Por fim, determina as maneiras de se identificar a massa final e a taxa de corrosão da amostra, além das técnicas para construção de gráficos.

### **2.1.3.1.2 – Norma NACE RP07**

A norma (NACE International, 2005) trata dos métodos utilizados na aplicação de cupons de corrosão na perfuração de poços, transporte e produção de petróleo. Entre os métodos estão: a preparação dos cupons, cuidados na instalação de cupons no campo, procedimentos de limpeza e medição de massa pós exposição, além do cálculo da taxa média de corrosão. A taxa de corrosão é o parâmetro mais importante na análise da corrosão por pites. A norma indica que para este cálculo deve ser utilizada somente a profundidade do pite mais profundo encontrado. Ela classifica essa taxa de acordo com o valor encontrado entre baixo, moderado ou severo.

### **2.1.3.1.3 – Norma ASTM G-46.**

A norma (ASTM - G46-94, 2005), determina as técnicas para identificação e exame dos pites e avaliação em cupons de corrosão para determinar a extensão de suas consequências:

- Identificação e Exame do pites – exame visual e utilização de microscópios ópticos com um pequeno aumento (20x).
- Análise visual inicial do cupom.
- Limpeza do cupom pós exposição – deve ser realizada de maneira a expor os pites completamente, no caso do desconhecimento do meio é interessante coletar e armazenar os produtos da corrosão.
- Examinar o metal após limpeza com um microscópio com um pequeno aumento(20x).
- Técnicas para determinação da forma dos pites (destrutivas e não destrutivas).
- Técnicas para determinação da profundidade dos pites (destrutivas e não destrutivas).
- Avaliação do fator de corrosão por pites.
- Análises estatísticas.
- Mudanças nas propriedades mecânicas.

As técnicas não destrutivas para determinação da forma são menos eficientes que as destrutivas, mas podem ser utilizadas no campo, sendo elas: radiografia, eletromagnética e utilização de líquidos penetrantes.

As técnicas para a determinação da profundidade dos pites: metalografia (destrutiva) – análise em microscópio do pite após corte transversal, Machining (destrutiva) – técnica que envolve a destruição da amostra medindo a diferença nas espessuras para determinar a profundidade, micrômetro (não destrutiva) – utiliza uma agulha que penetra na cavidade do pite, microscópio (não destrutiva) – define a profundidade pela diferença no foco na superfície e no fundo do pite.

Quanto à determinação da taxa de corrosão por pites, esta norma permite que seja utilizado um valor médio encontrado nos dez pites mais profundos. Para a avaliação dos resultados ela é mais detalhista que a norma NACE RP07, visto que apresenta cinco níveis de avaliação para os parâmetros de densidade de pites, tamanho e taxa de corrosão que são representadas respectivamente pelas letras A,B e C. Cada um dos parâmetros são separados por níveis de acordo com a intensidade que vão de 1 a 5.

## 2.2 - Sensor Confocal.

Segundo a (Micro-epsilon, 2015), o sensor confocal é um sensor de distância que funciona a partir da emissão de um feixe de luz branca (policromática). Um conjunto de lentes é transpassado por este feixe de luz (Figura 2.5), que o dispersa gerando feixes de luz monocromáticas. Assim estes feixes de luz (que possuem formato cônico) incidem na superfície a ser medida. Cada feixe tem uma distância característica de foco.

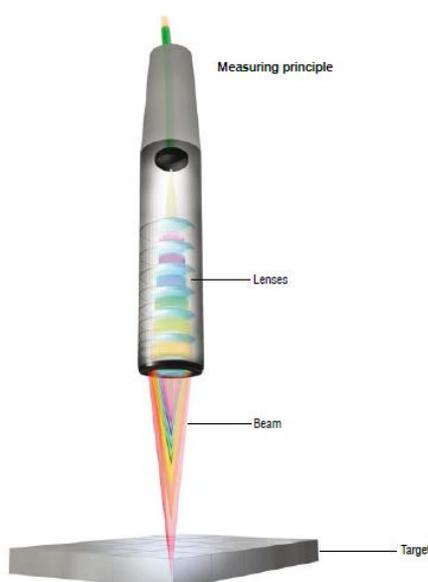


Figura 2.5 – Princípio de funcionamento do sensor confocal. (Micro-epsilon, 2015).

Dentro do sensor existe um espectrômetro, que recebe a luz refletida na superfície que está sendo medida, o mesmo identifica qual feixe de luz está em foco e assim determina a distância do sensor para o ponto de medição(Figura 2.6).

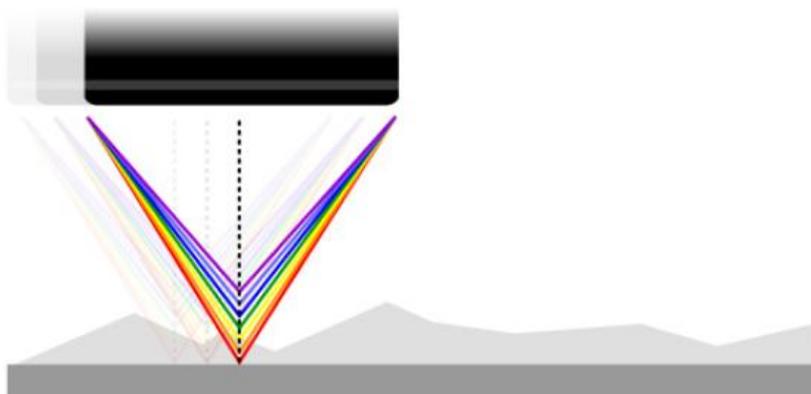


Figura 2.6 – Cada feixe de luz possui um ponto de foco diferente da outra. (Nanovea, 2014)

Sensores confocais permitem uma medição de alta resolução com alta frequência. Além de medir a distância, o sensor confocal é capaz de medir a espessura de materiais transparentes como o vidro ou acrílico.

### 2.3 - Mesa de Coordenada XY.

A mesa XY é uma mesa de coordenadas de dois graus de liberdade. Estas mesas estão muito difundidas na indústria de máquinas, ferramentas, robôs industriais, entre outros. A mesa pode ser manual, onde o operador a posiciona a partir da utilização de volantes, ou automática, onde motores elétricos (passo, indução ou síncronos) são responsáveis por mover a mesa. As mesas automáticas, ao contrário das manuais, não dependem da habilidade do operador para posicionar a peça alocada na mesa de maneira correta (Filho, *et. al.*, 2010)

Para o reconhecimento da posição da mesa é utilizado normalmente um sensor óptico de deslocamento denominado encoder. O encoder, dependendo do tipo, é capaz não somente de determinar a posição da mesa, mas também a velocidade e a aceleração da mesma.

Por se tratar de um elemento de dois graus de liberdade, cada eixo deve ter o seu motor e seu encoder. O controle de posição é feito por um controlador, geralmente eletrônico, responsável por comparar a posição desejada com a posição retornada

pelo encoder e acionar o motor de forma a diminuir a diferença entre os dois valores (Filho, et al., 2010).

#### **2.4 – A Tecnologia Confocal na Caracterização de Cupons de Corrosão.**

Pouco existe na literatura sobre o desenvolvimento de ferramentas para caracterização de superfícies corroídas. A maioria trata da avaliação do Microscópios Confocais já disponíveis no mercado empregados para este fim.

Em seu trabalho (Hanlon, et al., 2001), descrevem a teoria de funcionamento do microscópio confocal e como esta tecnologia, desenvolvida já nos anos 50, teve que esperar 30 anos para começar a ser comercializada. Até então, os Lasers apresentavam grandes dimensões, faltavam dispositivos de aquisição de imagens modernos e processadores com capacidade de tratar as informações. O trabalho mostra a utilização desta ferramenta em diferentes áreas dentro da Engenharia e Ciência dos materiais, principalmente após a evolução dos softwares de processamento de imagem que, em conjunto com os microscópios, permitiram a produção de imagens 3D das superfícies, mapas topográficos, entre outros.

Como exemplo, foi utilizada a caracterização de ferro fundido de alto cromo. O resultado se mostrou compatível com os encontrados por microscópios de força atômica, por quais as amostras haviam sido testadas anteriormente, quanto à rugosidade da superfície. A reprodução dos resultados da microscopia de força atômica fornecida pelo microscópio confocal na medição das características morfológicas da superfície confirmam a aplicabilidade desta tecnologia.

Outro equipamento que utiliza tecnologia de medição confocal para a caracterização de cupons são os chamados Perfilômetros 3D. Um dos fabricantes deste tipo (Nanovea, 2014) de equipamento afirma que é capaz de medir praticamente qualquer superfície, numa faixa de até nanômetros, com zero influência da refletividade da amostra, suportar altos ângulos de superfície sem manipulação via software dos resultados. Capaz ainda de fornecer varreduras em 2 e 3 dimensões da superfície. O equipamento faz isso com uma varredura total da superfície, lendo todos os pontos e gerando um mapa 3D da amostra sendo caracterizada. Ferramentas dos softwares são capazes de determinar o número de pites, a área e a profundidade, perímetro e volume.

Em seu trabalho de correlacionar parâmetros geométricos e a concentração de tensão em pites de corrosão, (Huang, et al., 2014) utilizam um perfilômetro 3D confocal modelo Sensofar PLI para a caracterização de amostras de uma liga de alumínio A356-T6, de forma a obter dados para simular as relações entre os pites encontrados e os resultados encontrados em testes de fadiga.

Da mesma maneira, foi realizada toda a varredura de uma determinada área e, a partir do auxílio de ferramentas computacionais, foram obtidos os formatos dos pites encontrados. Com estes dados, o autor foi capaz de apresentar um modelo de relação entre estas geometrias e a concentração do stress nos pites.

## 2.5 – O Software Petrocorrosão.

O Petrocorrosão é um software desenvolvido em ambiente Windows para a caracterização de cupons de corrosão a partir de imagens. Ele permite o tratamento da imagem de forma a destacar objetos ou regiões, facilitando a caracterização e medições.

Sua interface se assemelha às interfaces presentes em programas editores de imagens (Figura 2.7), o que facilita a sua operabilidade por se tratar de um ambiente simples e intuitivo.

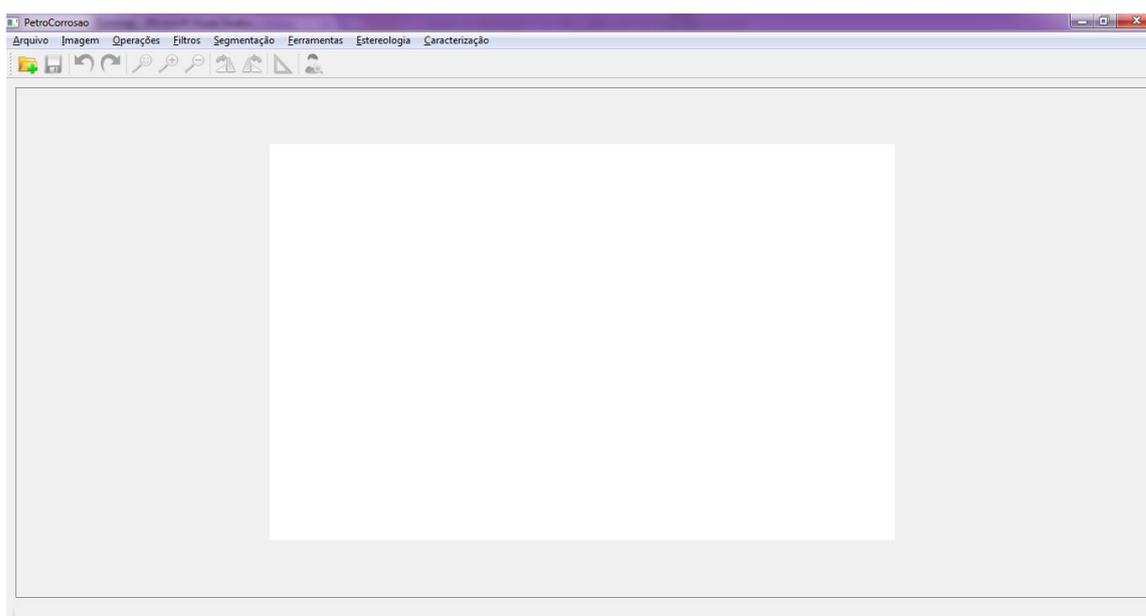
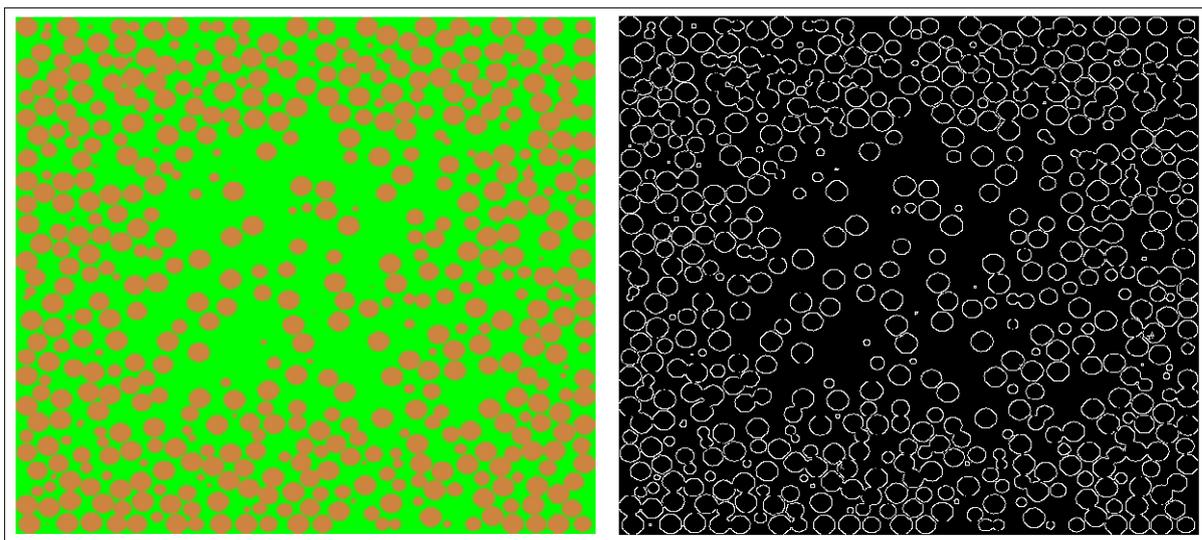


Figura 2.7 – Tela principal do programa (Nogueira, 2013).

Determinadas situações exigem a edição da imagem para, por exemplo, aumentar o contraste ou destacar certos detalhes. O software apresenta recursos de edição para a execução desta tarefa, sem a necessidade da utilização de outros softwares. Estes recursos são os filtros de: suavização (Blur, Gaussiano e Média), detecção de borda (borda, Sobel e Laplace) e os morfológicos (erosão e dilatação). A Figura 2.8 ilustra uma imagem antes e após ser submetida ao filtro operador de borda.



**Figura 2.8 – Resultado da aplicação do operador de borda (Nogueira,2013).**

O software é capaz de determinar quantos pixels da imagem corresponde a uma determinada unidade de comprimento para se possa medir as dimensões da estrutura. Com esta informação qualquer medição em pixels efetuada a partir da imagem pode ser convertida para uma unidade de comprimento, área ou volume. O sistema permite que esta escala calculada seja salva para utilização posterior (Figura 2.9).

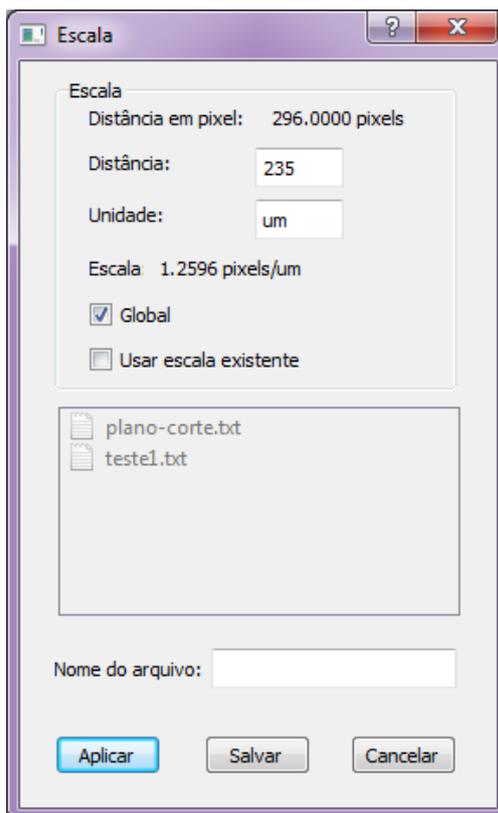


Figura 2.9 – Tela de preenchimento de informações da escaça (Nogueira,2013).

A identificação dos pites é feita a partir de uma rotina que segmenta a imagem em regiões distintas com base na diferença de tonalidade (Figura 2.10). O recurso “Segmentação Supervisionada” permite que esta operação seja realizada manualmente. Permitindo também incluir, eliminar, erodir e dilatar os pites.

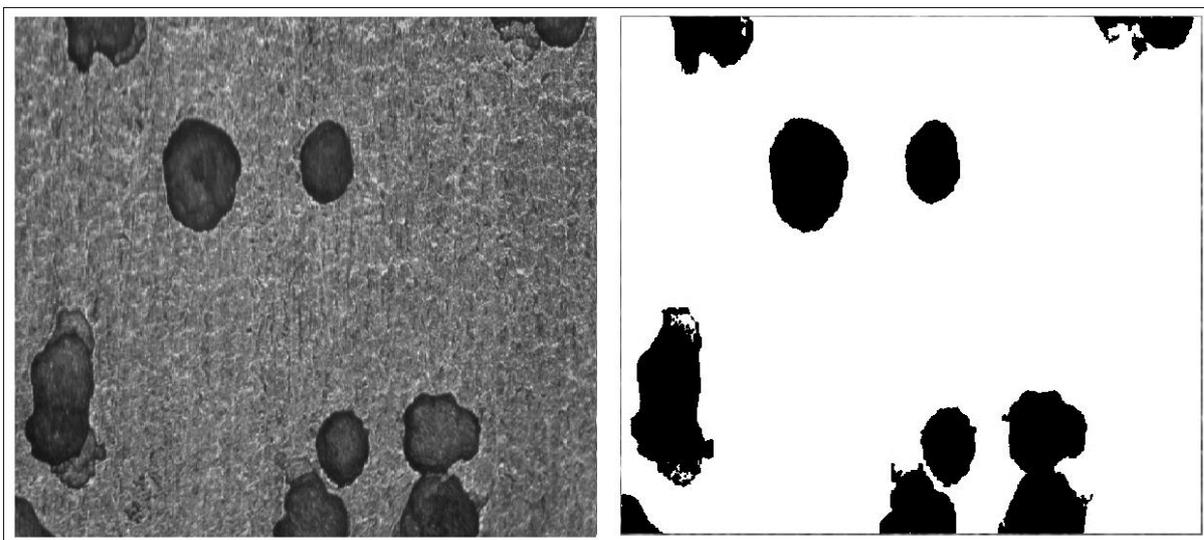
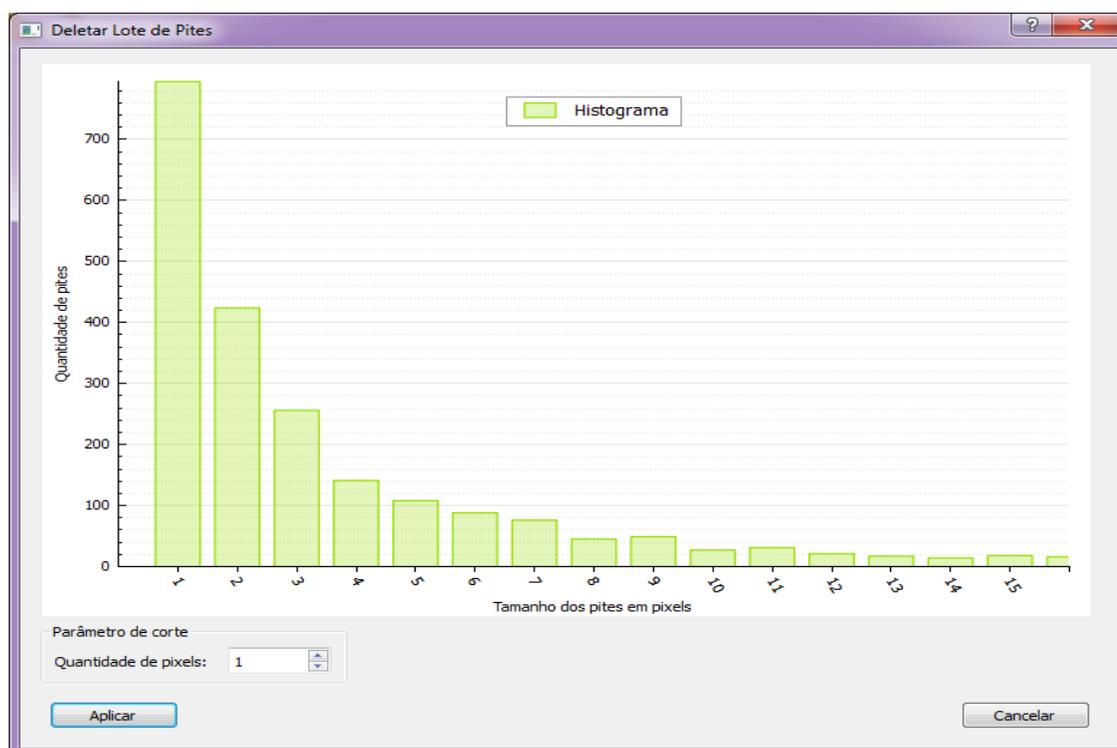


Figura 2.10 – Imagem binarizada com limiar de 70 (Nogueira, 2013).

O sistema possui um recurso capaz de apagar um determinado lote de pites a partir de um histograma de distribuição de tamanho dos pites(Figura 2.11). Determinando um valor de corte todos os objetos de tamanho inferior ao determinado são eliminados da imagem.



**Figura 2.11 – Histograma da distribuição do tamanho dos pites. (Nogueira,2013)**

A caracterização dos pites fornece as seguintes informações obtidas pela imagem: número total de pites reconhecidos, a escala utilizada, densidade dos pites, área total dos pites, área média dos pites, número de pixels, área e coordenadas de centroide de cada pixel da imagem. Ao final do processo de caracterização, um relatório como o da Figura 2.12 é gerado. Este relatório possui a opção de ser salvo em formato .txt .

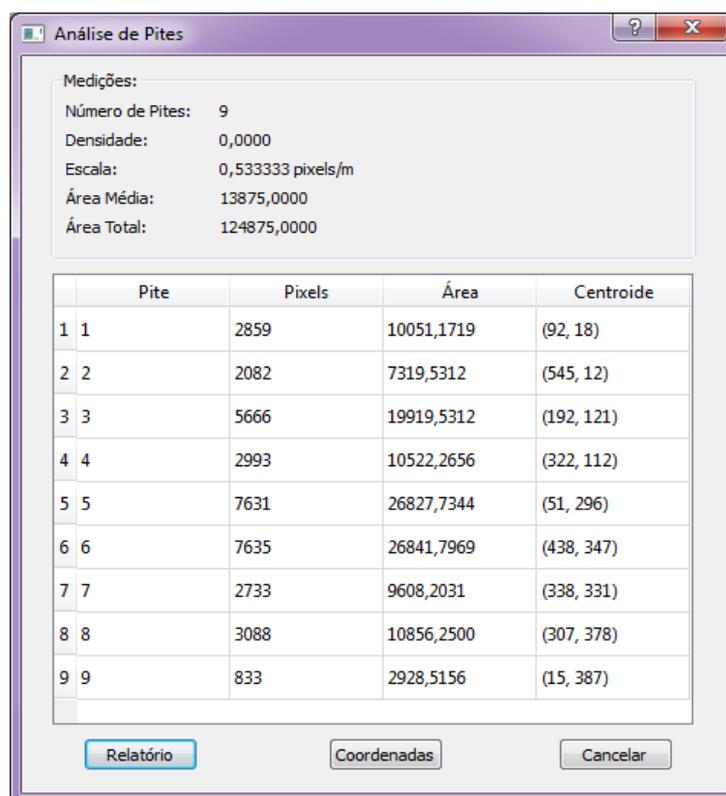


Figura 2.12 – Tela com análise dos pites identificados (Nogueira, 2013)

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

Este capítulo descreve todas as ferramentas e recursos utilizados para o desenvolvimento e operação da máquina, sejam estes de hardware ou software.

O Fluxograma (Figura 3.1) a seguir mostra as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

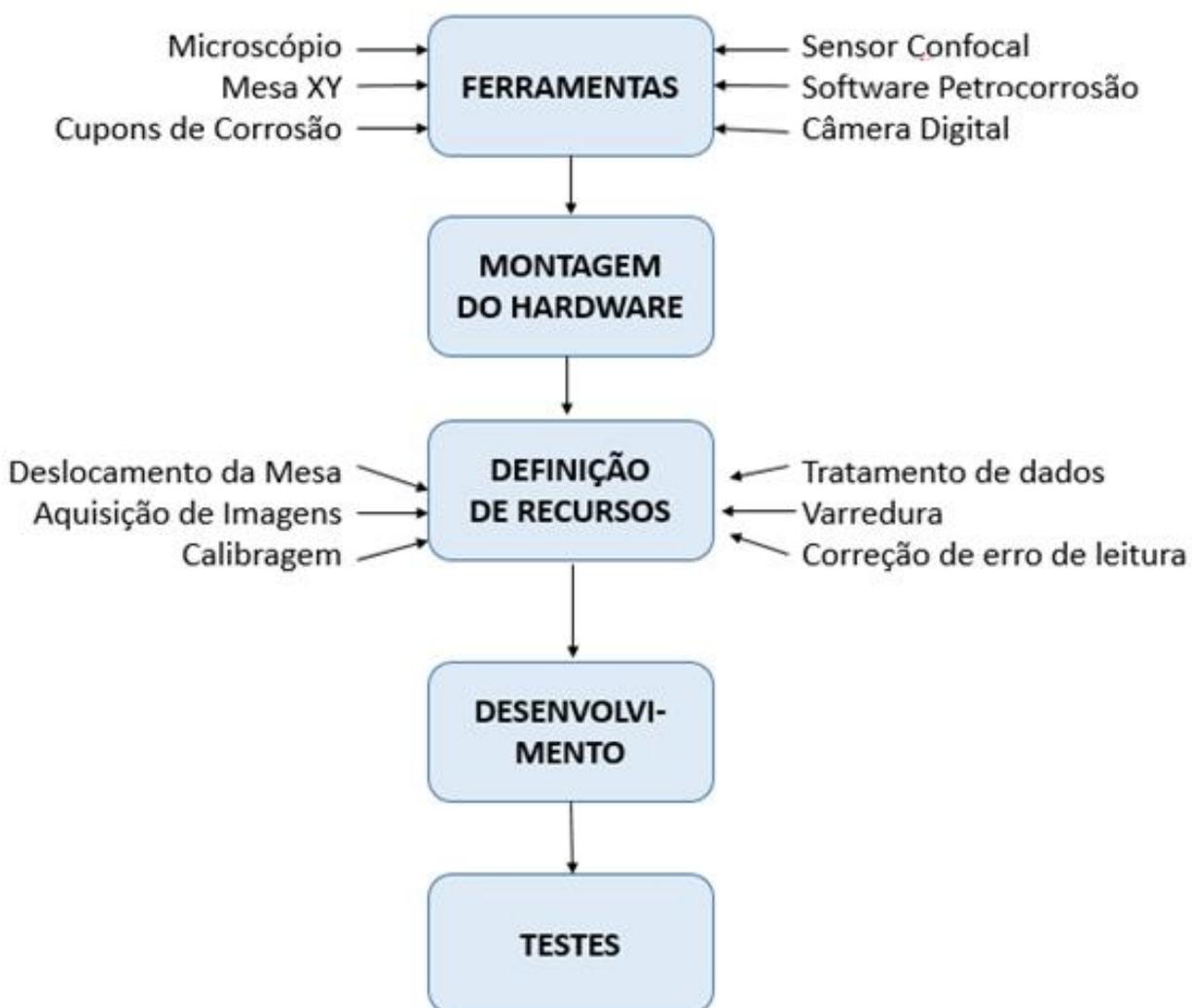


Figura 3.1 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.

### 3.1 – Ferramentas utilizadas.

Nos tópicos a seguir estão as descrições técnicas das ferramentas utilizadas neste projeto.

#### 3.1.1 - Mesa XY – Newmark Systems modelo NLE 250.

Esta mesa possui dois graus de liberdade (Figura 3.2). Possui uma faixa de deslocamento de 25 cm nos dois eixos. Em cada um dos eixos existe um conjunto motor de passo/encoder. Os motores e encoders comunicam-se com o controlador por meio de comunicação serial, sendo um cabo para cada equipamento. Assim, os motores recebem o sinal de comando para o movimento e os encoders retornam para o mesmo informações como posição, velocidade, aceleração, entre outros. As principais especificações técnicas da mesa estão na Tabela 1.



Figura 3.2 – Mesa XY modelo LNE 250 na Newmark Systems. (Newmark Systems,2014)

Tabela 1 – Especificações técnicas da mesa XY LNE 250.

Modelo	LNE 250
Faixa deslocamento (mm)	250
Resolução ( $\mu\text{m}$ )	0,1
Repetibilidade ( $\mu\text{m}$ )	0,5
Exatidão( $\mu\text{m}$ )	3
Carga Máxima Suportada(kgf)	22,5
Velocidade Máxima de Deslocamento(mm/s)	50
Tipo de Motor	Motor de passo não escovado de alto torque.

Fonte: Newmark Systems

O encoder divide a faixa de deslocamento em 2.500.000 pontos. O equipamento não possui um valor de posição absoluto. Cada vez que o controlador (Figura 3.3 a) é ligado, o mesmo identifica a posição inicial como a (0,0). Podendo atingir valores negativos e positivos dependendo do sentido do deslocamento em função dessa posição inicial. Mas independente da posição inicial a diferença dos valores enviados pelo encoder é de 2.500.000 pontos. Considerando que a mesa permite um movimento de 25cm, cada 1 ponto enviado pelo encoder significa 0,1um.

Um Joystic (Figura 3.3 b) faz parte do conjunto. Este também comunica com o controlador por meio de um cabo serial, permitindo que os movimentos manuais sejam convertidos em movimento da mesa.

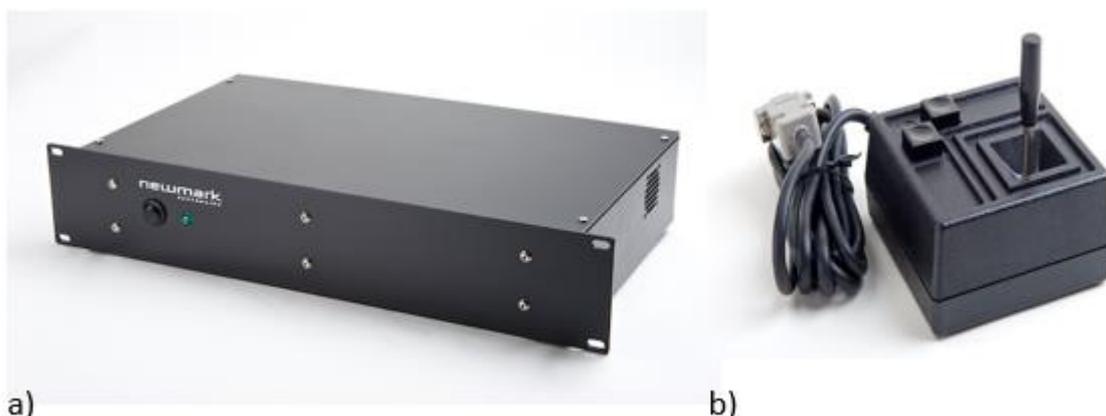


Figura 3.3 – a) Controlador da mesa XY. b) Joystic. (Newmark Systems,2014)

O sistema possui um programa chamado GalilTools (Figura 3.4). O programa permite a operação, programação, e leitura das variáveis presentes no controlador. É possível produzir sub-rotinas que facilitam o movimento da mesa a partir de movimento pré-configurados. O controlador possui duas opções de comunicação com o PC: ethernet e a serial.

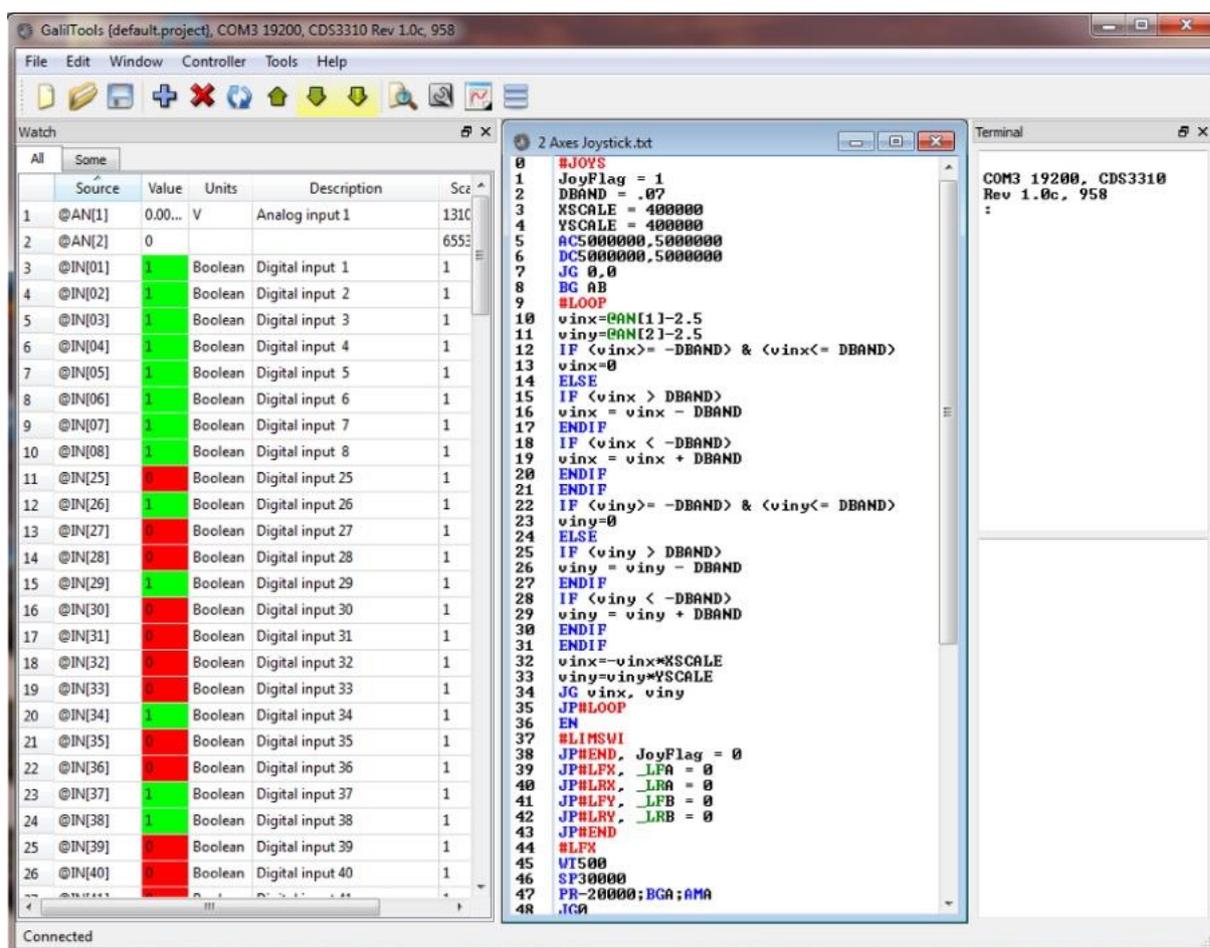


Figura 3.4 – Software Galil Tools. (Newmark Systems,2014)

Um arquivo de interface chamada galil.h também é disponibilizado para que o desenvolvedor possa acrescentar a sua aplicação o comando da mesa.

### 3.1.2 – Sensor confocal.

Trata-se de um conjunto sensor/controlador conectados por um cabo de fibra óptica (Figura 3.5). O sensor é modelo IFS 2401-3 da fabricante Micro-epsilon e possui uma faixa de medição de 3 mm (Figura 3.6). A medição se inicia a uma 16,3mm da superfície sensora. Assim, para que a distância do objeto seja medida ele deve estar entre 16,3mm e 19,3mm do sensor.

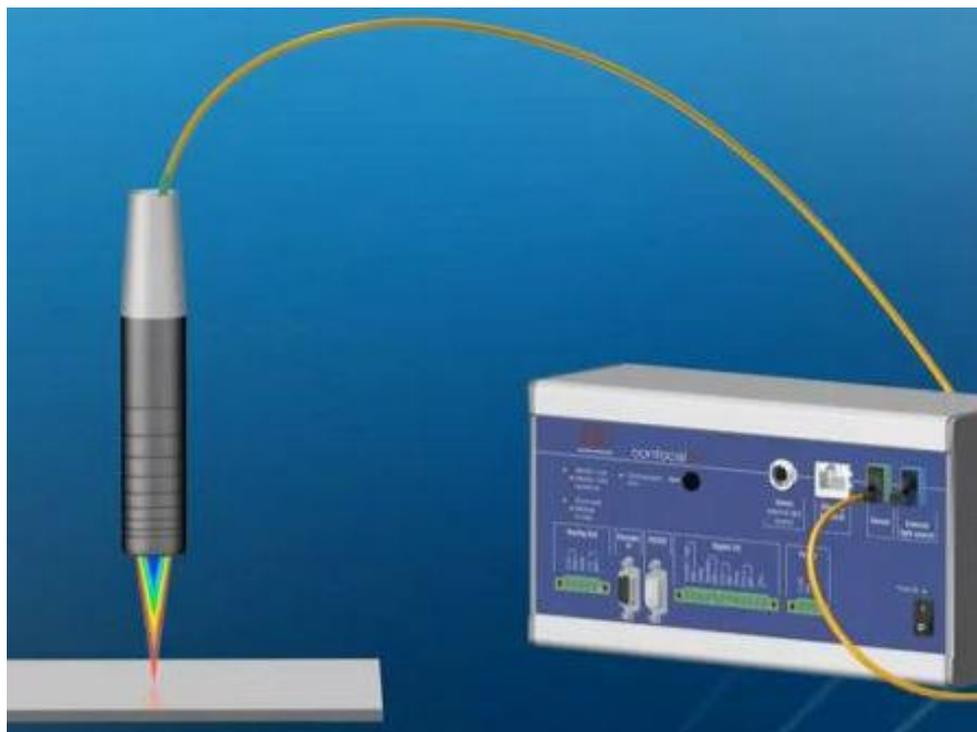


Figura 3.5 – Conjunto controlador/sensor confocal ligados por fibra óptica (Micro-epsilon, 2015).

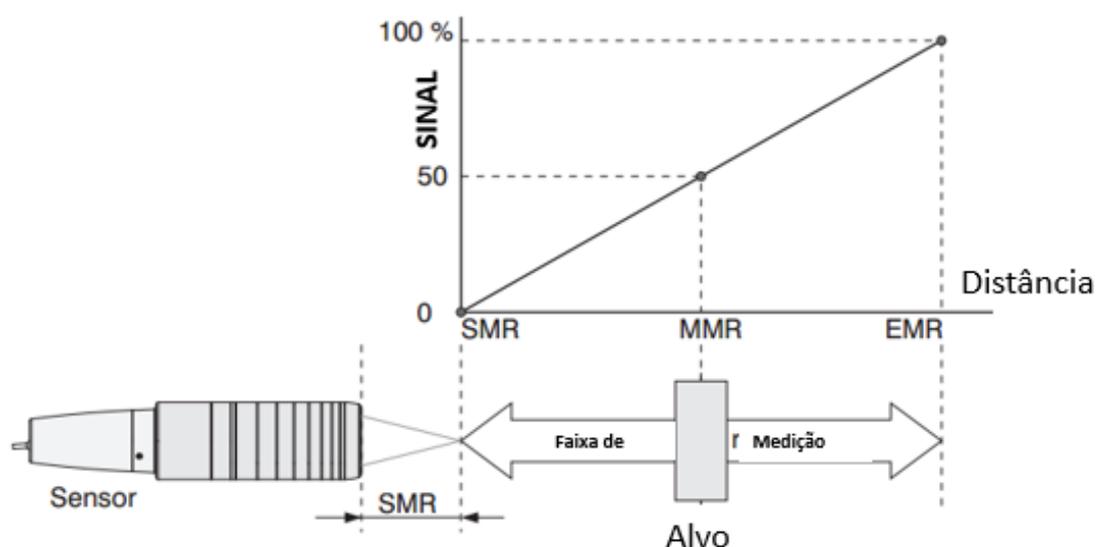


Figura 3.6 – Funcionamento da medição do sensor confocal (Micro-epsilon, 2015).

Outras especificações importantes deste sensor são a resolução de  $0,12\ \mu\text{m}$  e uma frequência de leitura de no máximo 2Khz. Uma limitação do equipamento é o ângulo máximo da reflexão do sinal luminoso, se este retornar ao sensor com um ângulo superior a  $22^\circ$  do feixe emitido. Isto acarretará em falha no valor de leitura.

O controlador, modelo confocalDT 2451, possui comunicação via cabo Ethernet, com um software próprio para leitura e configuração, além de um servidor web interno que permite configurá-lo via um navegador web.

O fabricante disponibiliza um arquivo de interface MEDAQLib.h para linguagem em C e biblioteca que permite ao usuário produzir suas próprias aplicações utilizando o sensor. As principais especificações técnicas do modelo podem ser vistas da Tabela 2.

**Tabela 2 – Especificações técnicas do sensor confocal.**

Modelo	IFS 2401-3
Faixa de medição (mm)	3
Início da faixa de medição(mm)	16,3
Diâmetro do ponto de medição ( $\mu\text{m}$ )	25
Linearidade( $\mu\text{m}$ )	1,5
Resolução( $\mu\text{m}$ )	0,12
Máximo ângulo de reflexão em reflexão direta	$\pm 22^\circ$
Taxa de medição	De 100Hz até 2kHz

Fonte: MicroEpsilon

### 3.1.3 – Câmera Fotográfica Digital Canon Rebel T3i.

É uma câmera digital que produz fotos de até 18Mp (Figura 3.7). Permite a operação remota via cabo USB e um software próprio para aquisição de imagens e alterações nas configurações da câmera. Assim como os outros dispositivos deste projeto ela possui uma biblioteca para desenvolvimento de aplicações, além de um software em código aberto para conexão com a câmera e aquisição de imagens.



**Figura 3.7 – Camera Canon Rebel T3i (Canon,2015).**

Tabela 3 – Especificações técnicas câmera Canon Rebel T3i.

Modelo	IFS 2401-3
Monitor(pol.)	3
Sensor	CMOS
Resolução(Mp)	18.1
Peso(g)	515

Fonte: Canon.

#### 3.1.4 - Microscópio óptico Fabricante National modelo 420t.

Microscópio estereoscópio trinocular (Figura 3.8), com lente objetiva de 4x e oculares com aumento de 10x e inclinados em 45°. Isto permite um aumento de 10-40x. O tubo trinocular permite a conexão de câmeras ou adaptadores SLR.



Figura 3.8 – Microscópio estereoscópio (National Optical, 2015).

#### 3.1.5 – Adaptador da Câmera Canon Modelo SLR para Microscópio

Dispositivo necessário para a conexão entre a câmera e o microscópio (Figura 3.9). Possui uma lente auxiliar de 2x que permite o aumento da capacidade de ampliação para 80x.



Figura 3.9 – Adaptador câmera/microscópio (Microscope World, 2015).

### 3.1.6 – Fonte de Luz modelo MW150R

Fonte de luz que possui um conector em formato de anel para ser conectado ao microscópio (Figura 3.10). A transmissão da luz entre fonte e conector em formato de anel é feito por um cabo de fibra óptica. Isto permite uma distribuição mais homogênea da luz, evitando sombras. O aparelho possui um botão para o controle da intensidade da luz.



Figura 3.10 – Fonte de luz MW150R.

### 3.1.7 - Roteador

Elemento responsável por concentrar a comunicação entre os principais equipamentos do sistema: o controlador da mesa, o controlador de sensor e o PC que estará rodando o software de operação. O modelo utilizado da fabricante TPLINK é um modelo cabeado de 8 portas (Figura 3.11).



Figura 3.11 – Roteador TPLink (TP-Link, 2014).

### 3.1.8 – Rack

Equipamento utilizado para proteção de alguns dos dispositivos. Trata-se de uma caixa metálica com uma tampa com acrílico (Figura 3.12)



Figura 3.12 - Rack 16U Fabricante Nilko(Nilko,2014).

### 3.1.9 – Estrutura Metálica de Máquina

Um móvel metálico rígido e com um tampão de granito com peso aproximado de 80kg (Figura 3.13), de forma a absorver vibrações causadas pelo movimento da mesa XY.

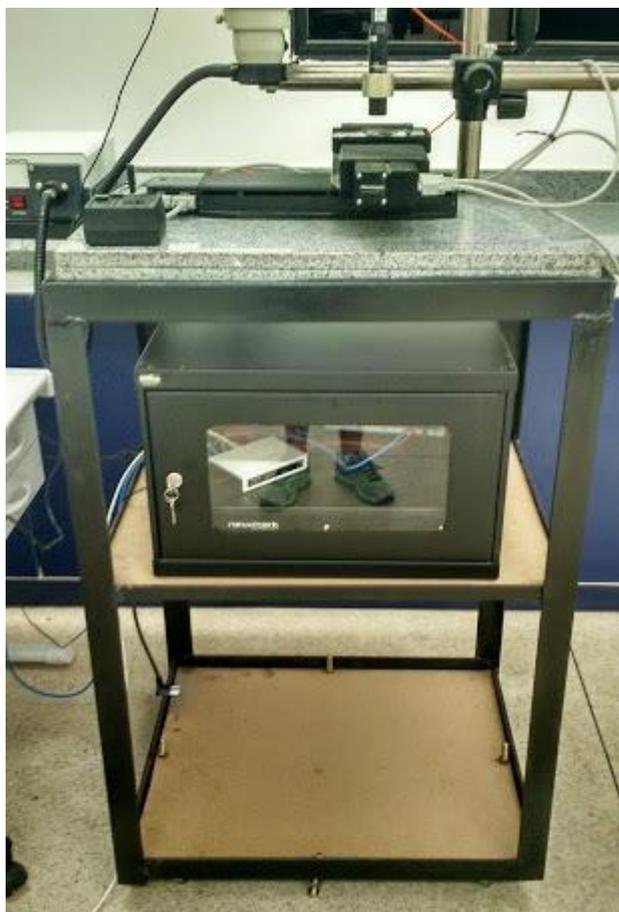


Figura 3.13 – Estrutura metálica construída para o projeto.

### 3.1.10 – Software Petrocorrosão

Software desenvolvido por (Nogueira, 2013), capaz de caracterizar, a partir de técnicas de computação gráfica e processamento de imagem, os pites de uma amostra com a utilização de fotos. Ele permite também tratamento das imagens, e produz relatórios com informações necessárias para a caracterização dos cupons como: número de pites, área individual de cada pite e área total dos pites. Contudo, o programa não é capaz de determinar a profundidade dos pites identificados.

### 3.2 – Ligação física dos dispositivos.

Todos os dispositivos estão dispostos em uma estrutura metálica, com uma placa de granito em sua parte superior (Figura 3.14), que possui a função de amortecer as vibrações decorrentes do movimento da mesa XY.

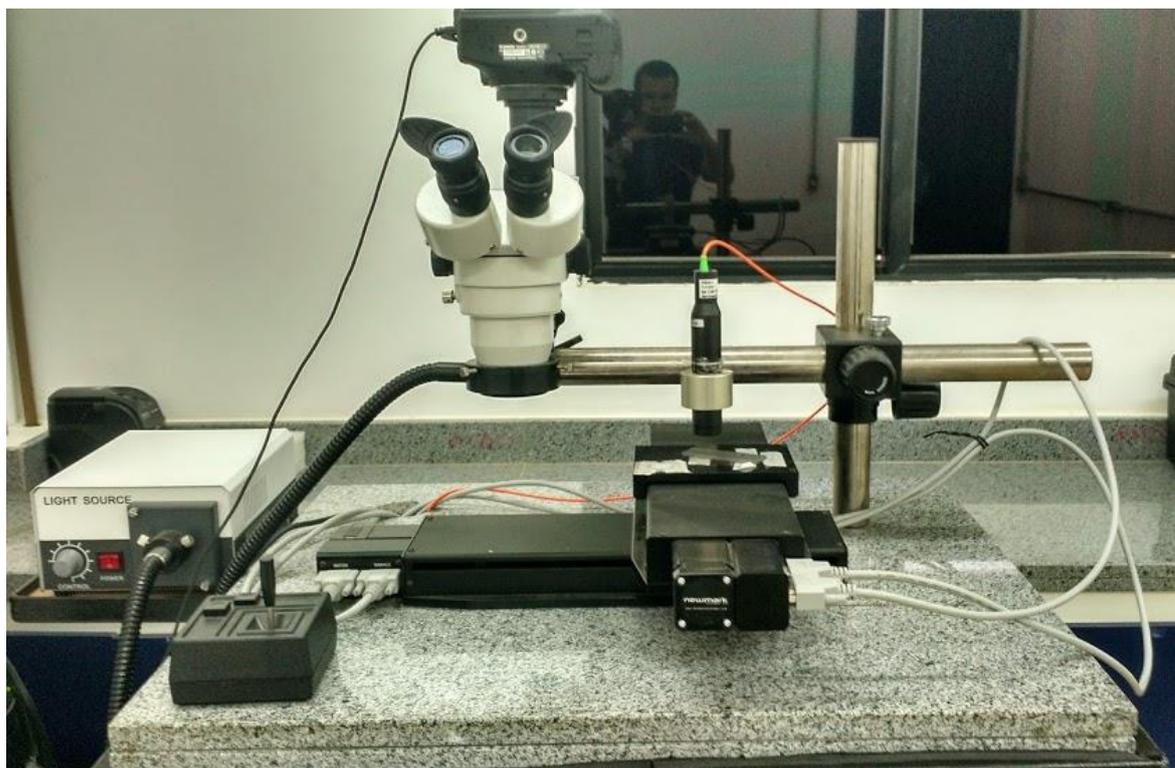


Figura 3.14 – Parte superior da máquina.

A placa possui dois orifícios. Um de diâmetro 60 mm, com a função de permitir a passagem dos diversos cabos para a parte inferior da estrutura; O outro de diâmetro menor, serve para a fixação, por meio de um parafuso, do tubo metálico utilizado de suporte do conjunto óptico (microscópio/câmera) e o sensor confocal (Figura 3.15). Este conjunto de fixação fazia parte originalmente do suporte do microscópio, este está fixado na extremidade do tubo, enquanto o sensor confocal foi fixado por meio de um conector de acrílico a uma posição intermediária.



**Figura 3.15 – Suporte do conjunto ótico e do sensor.**

Na parte superior da estrutura metálica existe uma bandeja menor para o suporte da fonte de luz (Figura 3.16).



**Figura 3.16 – Suporte da fonte de luz.**

Na prateleira central da estrutura (Figura 3.17) está localizado o rack onde estão dispostos o controlador da mesa XY, o controlador do sensor confocal e o roteador.



Figura 3.17 – Rack localizado na prateleira central.

Na base (Figura 3.18) existe mais uma prateleira que pode ser utilizada para colocar o gabinete de um computador. Junto aos pés da estrutura está um conjunto de rodízios para facilitar o deslocamento do equipamento.



Figura 3.18 – Base da estrutura metálica da máquina.

### 3.3 – Esquema de comunicação entre os dispositivos.

A Figura 3.19 mostra o esquema de comunicação entre os dispositivos. A comunicação entre a câmera digital Canon e o computador que executa o software petrocorrosão é realizada via USB. Já a comunicação entre o computador, os controladores da mesa XY e do sensor confocal é realizada por TCP/IP via cabo Ethernet com o auxílio do roteador. Os IPs de cada equipamento estão descritos na Figura 3.19.



Figura 3.19 – Esquema de comunicação entre os dispositivos da máquina.

### 3.4 – Recursos de Software

Para a integração entre o software PetroCorrosão e o equipamento proposto neste trabalho, foi necessária a construção de um novo módulo no sistema que permitisse controlar os dispositivos. Alguns algoritmos precisaram ser implementados direto no controlador da mesa XY.

### 3.4.1 - Aquisição das Imagens

Com a utilização da biblioteca disponibilizada pela fabricante Canon, foi possível acrescentar ao Software Petrocorrosão a possibilidade de operar e visualizar em tempo real a imagens obtidas pela câmera conectada ao microscópio (Figura 3.20). Após o disparo da câmera a imagem deve ser salva no computador.

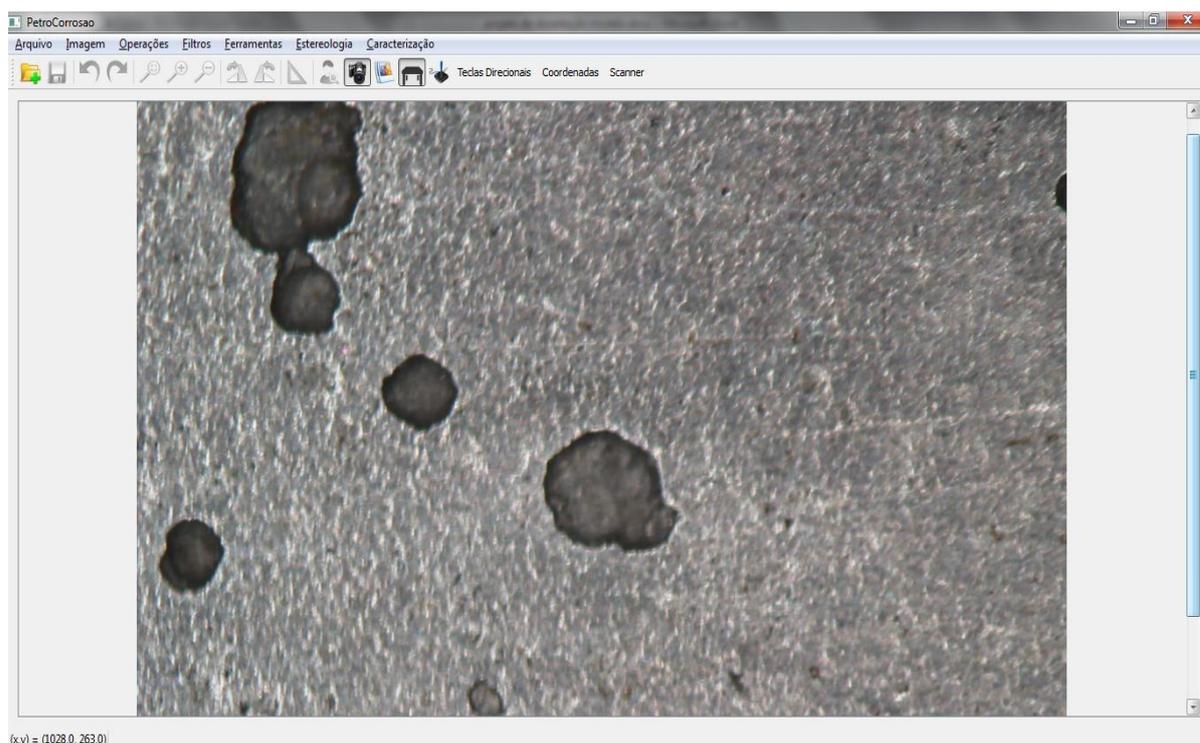


Figura 3.20 - Visualização do cupom em tempo real pelo PETROCORROSÃO.

### 3.4.2 – Movimento da Mesa Via Joystic

Esta lógica encontra-se em uma subrotina do controlador da mesa XY, chamada #JOYS. Mesmo estando implementada no controlador, fica a cargo do sistema enviar a mensagem que a habilita. O operador é capaz de acioná-la por meio de um ícone na barra de ferramentas. Ao habilitar essa função, torna-se possível o posicionamento da mesa via manipulação do joystic. A principal ação a ser realizada por meio do joystic é o deslocamento da mesa de forma a posicionar o cupom ou a régua no ponto de captação de imagem do conjunto microscópio/câmera. Como este código já veio com o controlador ele não será apresentado.

### 3.4.3 – Correção do Posicionamento da Mesa

Outra lógica implementada no controlador da mesa, mas habilitada pelo software é a **#CORREC**. Notou-se que sem uma lógica responsável por identificar erros de posicionamento e sua correção, a mesa apresentava imprecisões que superavam uma dezena de microns. Assim, com o auxílio da assistência técnica da fabricante da mesa foi desenvolvida uma lógica que identifica erros e produz novos deslocamentos em pequena velocidade. Após a implementação da mesma a mesa passou a apresentar erros na faixa de  $\pm 2 \mu\text{m}$  em cada eixo. O código desenvolvido é o que segue:

#### **#CORREC**

**MOV=0** ‘ *MOV é a variável que indica ao computador se a mesa ainda está em movimento, apenas quando MOV for para 1 o computador realizará a leitura do sensor.*

**BG AB** ‘ *Inicia-se o movimento nos dois eixos.*

**AM** ‘ *Aguarda o fim do movimento.*

**JP#PMA** ‘ *Pula para a subrotina #PMA responsável por corrigir o eixo X (ou A para a mesa).*

**EN** ‘ *Encerra a subrotina #CORREC*

**#PMA** ‘ *Subrotina responsável por diminuir o erro em A*

**JP#PMA, \_BGA=1** ‘ *Retarda o código até que o movimento de A se encerre.*

**spa = \_SPA** ‘ *Guarda o valor atual de velocidade do eixo*

**aca = \_ACA** ‘ *Guarda o valor atual de aceleração do eixo*

**dca = \_DCA** ‘ *Guarda o valor atual de desaceleração do eixo*

**SP5000** ‘ *Especifica novo valor de velocidade*

**AC200000** ‘ *Especifica novo valor de aceleração*

**DC200000** ‘ *Especifica novo valor de desaceleração*

**RATIOA = 1** ‘ *Fator de correção, foi adotado valor igual ao do código enviado pela assistência técnica do fabricante.*

**#LOOPA** ‘ *Subrotina que ira se repetir até que o erro esteja dentro da faixa*

**WT10** ‘ *aguarda 10ms*

**ERRORA = \_RPA - (\_TPA \* RATIOA)** ‘ *Calcula o valor atual do erro*

**JP#ENDA,@ABS[ERRORA] < 10** ' Condição que encerra o movimento se o erro for menor que 1µm.

**YRA= ERRORA** ' Salva o valor anterior do erro.

**MCA** ' Aguarda o fim do movimento.

**JP#LOOPA** ' Retorna para o início do Loop.

**#ENDA** ' Subrotina para finalizar o movimento em A após o erro ficar dentro da margem.

**SPA=spa** ' Retorna o valor anterior de velocidade

**ACA=aca** ' Retorna o valor anterior de aceleração

**DCA=dca** ' Retorna o valor anterior de desaceleração

**JP#PMB,1** ' Pula para a subrotina de correção do eixo B

**EN**

,

**#PMB** ' Subrotina de correção do eixo B

**JP#PMB, \_BGB=1** ' Retarda a sequencia do código até que o movimento em B esteja encerrado.

**spb = \_SPB** ' Guarda o valor de velocidade do eixo

**acb = \_ACB** ' Guarda o valor de aceleração do eixo

**dcB = \_DCB** ' Guarda o valor desaceleração do eixo

**SP,5000** ' Novo valor de velocidade

**AC,200000** ' Novo valor de aceleração

**DC,200000** ' Novo valor de desaceleração

**RATIOB = 1** ' Fator de correção, foi adotado valor igual ao do código enviado pela assistência técnica do fabricante.

**#LOOPB** ' Loop de correção

**WT10** ' Aguarda 10ms

**ERRORB = \_RPB - (\_TPB \* RATIOB)** ' Calcula o erro no eixo

**JP#ENDB,@ABS[ERRORB] < 10** ' Finaliza a rotina se erro dentro da margem.

**YRB=ERRORB** ' Guarda o valor atual do erro.

**MCB** ' Aguarda fim do movimento do eixo.

**JP#LOOPB** ' Retorna para o início o loop

**#ENDB** ' Subrotina que finaliza a correção em B

**SPB=spb** ' Retorna o valor inicial de velocidade

**ACB=acb** ' Retorna o valor inicial de aceleração

*DCB=dcb'* Retorna o valor inicial de desaceleração

*MOV=1'* Retorna para o PC que a correção foi efetuada.

*EN*

Todo movimento solicitado pelo software Petrocorrosão envia um *XQ#CORREC* na sequência, para garantir que a posição esteja dentro da margem de erro. É importante ressaltar que mesmo o código tentando garantir um erro inferior a 10 unidades do encoder, que equivale a  $1\mu\text{m}$ , o valor pode extrapolar um pouco esse número. Testes realizados apresentaram erros dentro de uma faixa de  $\pm 2\mu\text{m}$ . A variável *MOV* é o controle para que o PetroCorrosão identifique que o movimento foi encerrado. O programa fica atualizando o valor de *MOV* até que seu valor vá para 1, o que indica que todo o processo de correção foi encerrado. Ao reconhecer que o valor foi para 1, o PetroCorrosão retorna o valor dessa variável para 0 e inicia a leitura do valor de distância medido pelo sensor confocal.

#### **3.4.4 – Lógica de Conversão Posição da Imagem para Posição da Mesa**

O sistema apresenta três sistemas de medição distintas. Toda a análise feita a partir das imagens é medida em pixels, já o posicionamento da mesa é dada em unidades do encoder, e por último, temos os valores reais de posição, área e profundidade em micrometros. O sistema deve ser capaz de converter esses valores apresentados em unidades diferentes para conseguir operar da maneira correta.

Para a realização desta tarefa de conversão de unidades de medida foi implementada a seguinte estratégia: após a análise da imagem, o software identifica os pites e o seu centroide. Esta coordenada é dada em pixels. Para que possa ser realizada a leitura da profundidade deste ponto, é necessário o deslocamento do cupom no ponto identificado na imagem, para o ponto de leitura do sensor confocal. Para que a conversão da posição de um determinado ponto da foto seja convertido em posição da mesa é necessário saber qual é a distância entre o centro da foto (CF) e o ponto de medição do sensor (PM). Este vetor distância é dividido em seus componentes em X e Y, que o sistema identifica como as variáveis *XCAL* e *YCAL* (Figura 3.21).

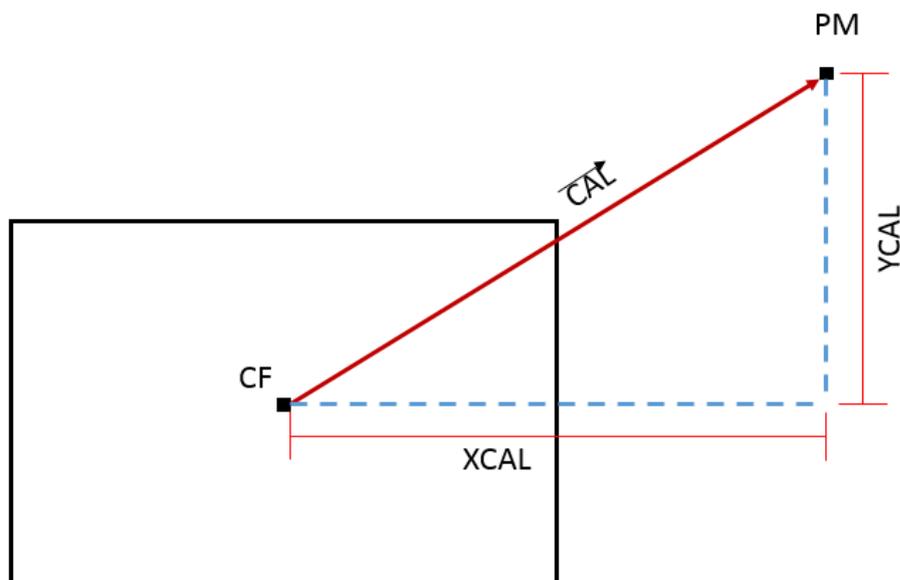


Figura 3.21 – Vetor distância CAL que indica a distância entre o ponto central apresentado na imagem e o ponto de leitura do sensor.

É importante ressaltar que o encoder da mesa não guarda as posições após o desligamento. Sempre que a mesa é ligada, a posição atual da mesma é considerada com posição 0,0. Assim não é possível garantir a coordenada de mesa onde é realizada a leitura, então a lógica foi implementada em função da distância já que se não ocorrer nenhum deslocamento do microscópio e do sensor confocal a distância será sempre a mesma.

O próximo passo é determinar a relação entre pixel e distância em micrometros. Isto é feito com o auxílio de uma régua fixada na mesa, ela possui uma reta com o comprimento total de 5mm. Fazendo a relação entre seu tamanho em micrometros e seu tamanho em pixels na foto, é possível determinar a relação entre comprimento e pixels para aquele valor de aumento do microscópio.

Quando o operador captura a foto do cupom, o sistema guarda aquela coordenada nas variáveis X0 e Y0. Com esses pontos, mais os valores de distância de XCAL e YCAL, com uma simples soma é possível posicionar o ponto correspondente ao ponto central da imagem na posição de leitura do sensor.

Para posicionar um ponto qualquer da imagem no ponto de leitura do sensor, é necessário então saber a distância do mesmo para o centro da imagem. É importante ressaltar que as coordenadas em pixels das imagens têm como ponto inicial o canto superior esquerdo e crescem no sentido de cima para baixo e do lado esquerdo para o direito. O sistema funciona com foto com uma resolução de (5184x 3456) pixels

quadrados, então a coordenada central da imagem em pixels é (2592,1728) (Figura 3.22).

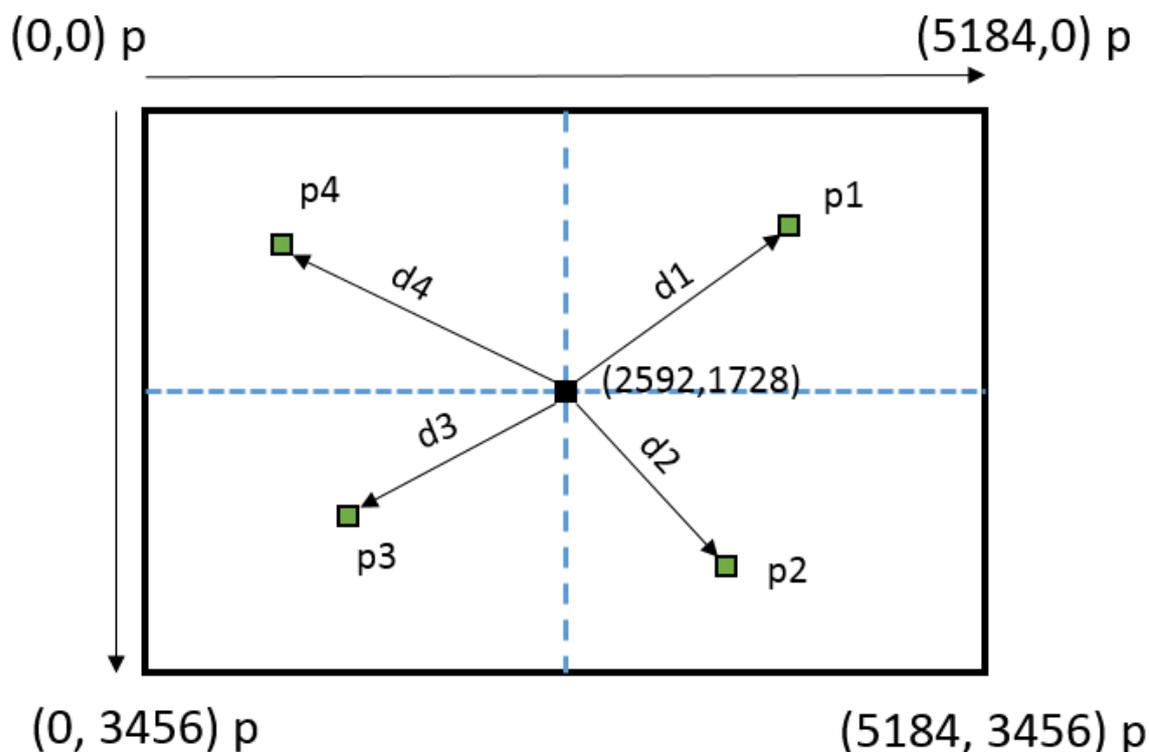


Figura 3.22 – Comportamento dos pixels na imagem e a distância entre pontos aleatórios do ponto central da imagem.

A subrotina *#DESLOC*, responsável por realizar esses cálculos, é apresentada abaixo. Cada coordenada de centroide de pite (XI,YI) é enviado ao controlador da mesa em pixels, além das outras variáveis descritas neste tópico. O controlador calcula então a sua distância em pixels do ponto central da imagem X0 e Y0 (2592, 1746p). O resultado será a distância em pixels do ponto central, quando multiplicado pelo valor da relação  $\mu\text{m}/\text{p}$ , o sistema identifica a distância do mesmo em micrômetros. No final é somado o valor de XCAL e YCAL. Assim, a mesa determina o ponto exato da leitura. Após a execução da subrotina *#DESLOC*, o PETROCORROSÃO envia a o comando *XQ#CORREC* (já descrito anteriormente) para mover a mesa para o ponto específico.

Descrição das variáveis:

XF e YF - Coordenadas finais em X e Y, ponto para qual a mesa será deslocada;

XI e YI - Coordenadas em pixels da centroide do pite;

XMAX e YMAX – Tamanho total da foto em X e em Y (pixels);

X0 e Y0 – Coordenadas da mesa no momento em que a foto foi capturada;

CON – Fator de conversão  $\mu\text{m}/\text{p}$ .

**#DESLOC**

**XF=0;** ' Zera o valor da coordenada final X em unidades de encoder

**YF=0;** ' Zera o valor da coordenada final Y em unidades de encoder

**IF (XI<(XMAX/2));** ' Se a coordenada da foto em X estiver antes do centro da imagem,

**XF=X0-((XI-(XMAX/2))\*(CON\*10));** ' É calculada a distância entre o ponto e o centro da foto em  $\mu\text{m}$

**MG XF;** ' Comando de impressão do resultado, serve apenas para acompanhar o processo pelo terminal do GalilTools

**ELSE**

**XF=X0+(((XMAX/2)-XI)\*(CON\*10));** ' Se a coordenada da foto em X estiver pois do centro da imagem a distância é calculada por essa fórmula.

**MG XF**

**ENDIF**

**IF (YI<(YMAX/2))** ' Se a coordenada da foto em Y estiver antes do centro da imagem,

**YF=Y0-(((YMAX/2)-YI)\*(CON\*10));** ' Formula do calcula da distância em Y;

**MG YF**

**ELSE**

**YF=Y0+((YI-(YMAX/2))\*(CON\*10))** Se a coordenada da foto em Y estiver depois do centro da foto a distância é calculada com essa fórmula.

**MG YF**

**ENDIF**

**XF=XCAL+XF;** ' A distância em X do ponto para o X0 é somada a distância para o Sensor,

**YF=YCAL+YF;** ' A distância em X do ponto para o X0 é somada a distância para o Sensor,

**PA XF,YF;** ' É indicado ao controlador o ponto para o qual a mesa deve ser deslocada,

**EM**

### 3.4.5 – Aquisição e Tratamento dos Dados de Leitura

Algumas superfícies de leitura podem acarretar falha na coleta de dados, já que esta pode refletir o feixe de luz para ângulos superiores a 22 graus (o máximo suportado pelo sensor). A consequência disso são valores de leitura com variações na ordem dos milímetros.

Sendo assim, todo valor de distância lido passa por um processo que testa a sua confiabilidade. Um total de 50 valores são obtidos no local onde se deseja saber a profundidade, é então calculado a média desses valores e o desvio padrão. Se o desvio padrão for inferior a 5  $\mu\text{m}$  o valor médio é coletado; se não, o valor da média é substituído pelo número 100 que identifica erro. O valor limite de 5  $\mu\text{m}$  de desvio padrão foi aplicado por conta de análises de medições de profundidade de pites onde se levou em consideração a variação obtida em microscópio ótico. Este valor é comparável à dispersão obtida no microscópio ótico.

### 3.4.6 – Cálculo da Profundidade

O sensor é capaz de calcular diretamente somente a distância do início da sua faixa de funcionamento até o ponto de foco do feixe de medição. Assim, para que seja determinada a profundidade do pite, é necessário antes determinar a distância de um ponto de referência na superfície da amostra que não tenha sido atacada pela corrosão. Com a diferença entre as distâncias entre o ponto de referência e o fundo do pite, é calculada a profundidade (Figura 3.23).

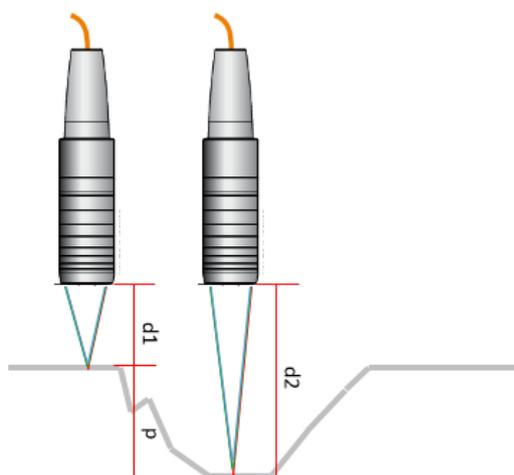


Figura 3.23 – Determinação da profundidade do pite.

### 3.4.7 – Varredura de Área

Este recurso está implementado, parte no software Petrocorrosão, parte no controlador da mesa. A primeira ação é selecionar uma região retangular da amostra, definida por seus vértices superior esquerdo e o inferior direito. O software envia as duas coordenadas em pixel para o controlador que executa o `#DESLOC`, para convertê-las nas posições de mesa correspondentes. Estes são salvos no controlador como `X1,Y1` e `X2,Y2`. A altura (convertida em micrometros) é dividida por dez, pois a lógica está configurada para gerar uma nuvem de pontos onde cada valor medido tem um espaçamento de  $10\ \mu\text{m}$ . O resultado da divisão irá determinar o número de linhas da varredura. No final a área será varrida como na Figura 3.24.



Figura 3.24 – Varredura de uma determinada área selecionada pelo operador.

As linhas pares são lidas da esquerda para direita. Para iniciar esse movimento, após o posicionamento da amostra na origem do movimento, o software envia o comando `XQ#ONLFY` para o controlador, que inicia a varredura. A cada dez microns, a mesa retorna para o software um sinal indicando que aquele é um ponto de leitura (variável MD). O PETROCORROSÃO, ao reconhecer a mudança de estado lógico da variável, realiza a medição do ponto via sensor confocal, salva em um vetor e volta a colocar a variável em estado lógico FALSO. Ao encerrar essa linha a amostra é deslocada 10 microns pra cima, o que faz a leitura da próxima linha ser  $10\ \mu\text{m}$  abaixo da última linha do cupom, e é iniciada a leitura da linha ímpar da direita para a esquerda

pelo comando *XQ#ONFLY2*. Este processo se repete até todas as linhas terem sido varridas.

Abaixo estão às sub-rotinas *#ONFLY* e *#ONFLY2*, supracitadas. Antes de iniciar a varredura, a mesa é deslocada pra 5 $\mu$ m a esquerda do ponto de origem, isso evita que os erros de deslocamento (na ordem  $\pm 2\mu$ m) façam com que o primeiro ponto não seja lido.

***#ONFLY***

***MD=0;*** *Zera a variável responsável por indicar ponto de leitura*

***IN=0;*** *Zera o índice que auxilia no cálculo do próximo ponto de leitura.*

***X22=(X2-500);*** *Calcula o ponto final do movimento em X, ele é deslocado 5  $\mu$ m para que o erro de deslocamento não ocasione uma linha com leitura incompleta.*

***PA X22;*** *Indica o ponto final do movimento*

***BG A;*** *Inicia o movimento em X*

***MOVM=1;*** *Esta variável indica que o processo de varredura foi iniciado.*

***#LOOPM***

***IF ((\_BGA=1)&(\_TPA>=(X2-MARG)));*** *Condição para iniciar a lógica de medição ou encerrar o movimento.*

***IF ((\_TPA<=(X1-(PASSO\*IN)));*** *Condição para jogar MD pra 1 e incrementar o índice*

***MG \_TPA***

***MD=1;*** *Indica ao PETROCORROSÃO que é o momento de ler o sensor*

***IN=IN+1;*** *Incrementa a vária para o cálculo do próximo ponto de medição*

***JP#LOOPM,1;*** *Volta pro início do Loop*

***ELSE***

***JP#LOOPM,1;*** *Volta pro início do Loop se o último ponto não for de leitura.*

***ENDIF***

***ELSE***

***MOVM=0;*** *Indica o fim do movimento.*

***JP#ENDM,1;*** *Pula pra subrotina que encerra a leitura da linha*

***ENDIF***

***JP#LOOPM,1***

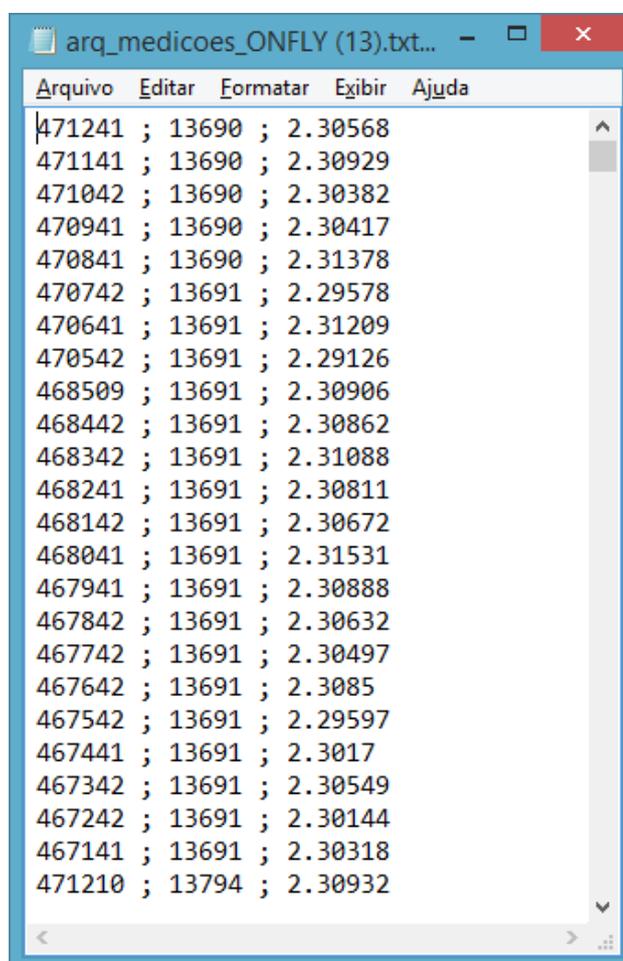
***#ENDM***

***ST;*** *Comando de Stop, que para o deslocamento.*

***EN***

A lógica do #ONFLY2 é semelhante à apresentada no #ONFLY. A diferença é que o sentido do movimento inverso muda algumas condições. Os movimentos são alternados entre esquerda pra direita e direita para esquerda até o final da varredura.

No final são gerados dois arquivos, o arquivo\_medição\_onfly.txt (Figura 3.25), que possui as coordenadas e a distância em mm, medida pelo sensor Confocal de todos os pontos lidos, separados por ponto e vírgula; e o arquivo\_gera\_imagem.txt (Figura 3.26), que possui uma matriz com apenas os valores de distância separados por linhas e colunas, além de um cabeçalho com os pontos de origem na primeira linha, a distância entre cada ponto de leitura em x e y na segunda linha e o número de linhas e colunas na terceira.



The image shows a screenshot of a text editor window titled "arq\_medicoes\_ONFLY (13).txt...". The window has a menu bar with "Arquivo", "Editar", "Formatar", "Exibir", and "Ajuda". The main text area contains a list of 20 lines of data, each line representing a measurement point. Each line consists of three values separated by semicolons: a coordinate value, a distance value, and a distance value. The values are as follows:

471241	; 13690	; 2.30568
471141	; 13690	; 2.30929
471042	; 13690	; 2.30382
470941	; 13690	; 2.30417
470841	; 13690	; 2.31378
470742	; 13691	; 2.29578
470641	; 13691	; 2.31209
470542	; 13691	; 2.29126
468509	; 13691	; 2.30906
468442	; 13691	; 2.30862
468342	; 13691	; 2.31088
468241	; 13691	; 2.30811
468142	; 13691	; 2.30672
468041	; 13691	; 2.31531
467941	; 13691	; 2.30888
467842	; 13691	; 2.30632
467742	; 13691	; 2.30497
467642	; 13691	; 2.3085
467542	; 13691	; 2.29597
467441	; 13691	; 2.3017
467342	; 13691	; 2.30549
467242	; 13691	; 2.30144
467141	; 13691	; 2.30318
471210	; 13794	; 2.30932

Figura 3.25 – Exemplo de arquivo\_medicoes\_ONFLY gerado.

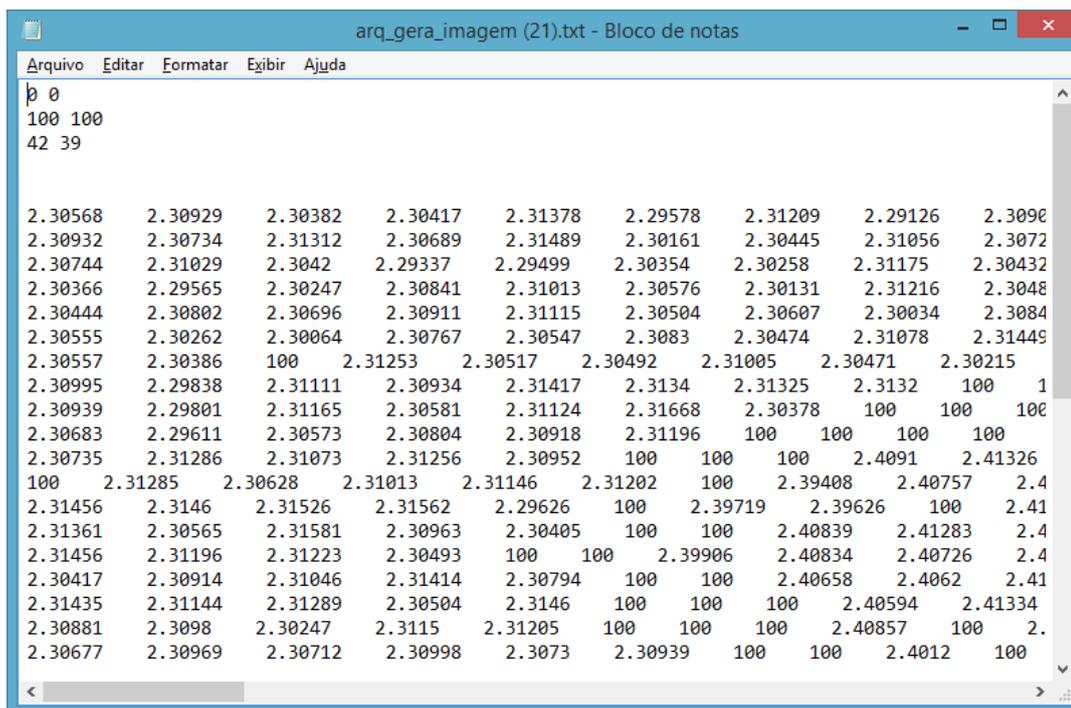


Figura 3.26 – Exemplo de arq\_gera\_imagem.

### 3.4 – Modos de Operação

Estão habilitados dois modos de operação no software, o modo *busca-pite* e o scanner *ONFLY*.

O modo *BUSCA-PITE* identifica e determina a profundidade dos pites individualmente, utilizando a correção da posição em casos de leituras não confiáveis.

O modo scanner *ONFLY* faz a varredura linha por linha, até completar a área selecionada. Os modos utilizam os recursos de software que já existiam na primeira versão do PETROCORROSÃO e o novo módulo desenvolvido. Alguns recursos são compartilhados entre os modos, enquanto outros são específicos. Exemplo: o modo de leitura e identificação do erro é utilizado em ambos, mas o de correção apenas do *BUSCA-PITE*.

O fluxograma a seguir (Figura 3.27) mostra o funcionamento do software/máquina nos dois modos utilizando os recursos já apresentados.

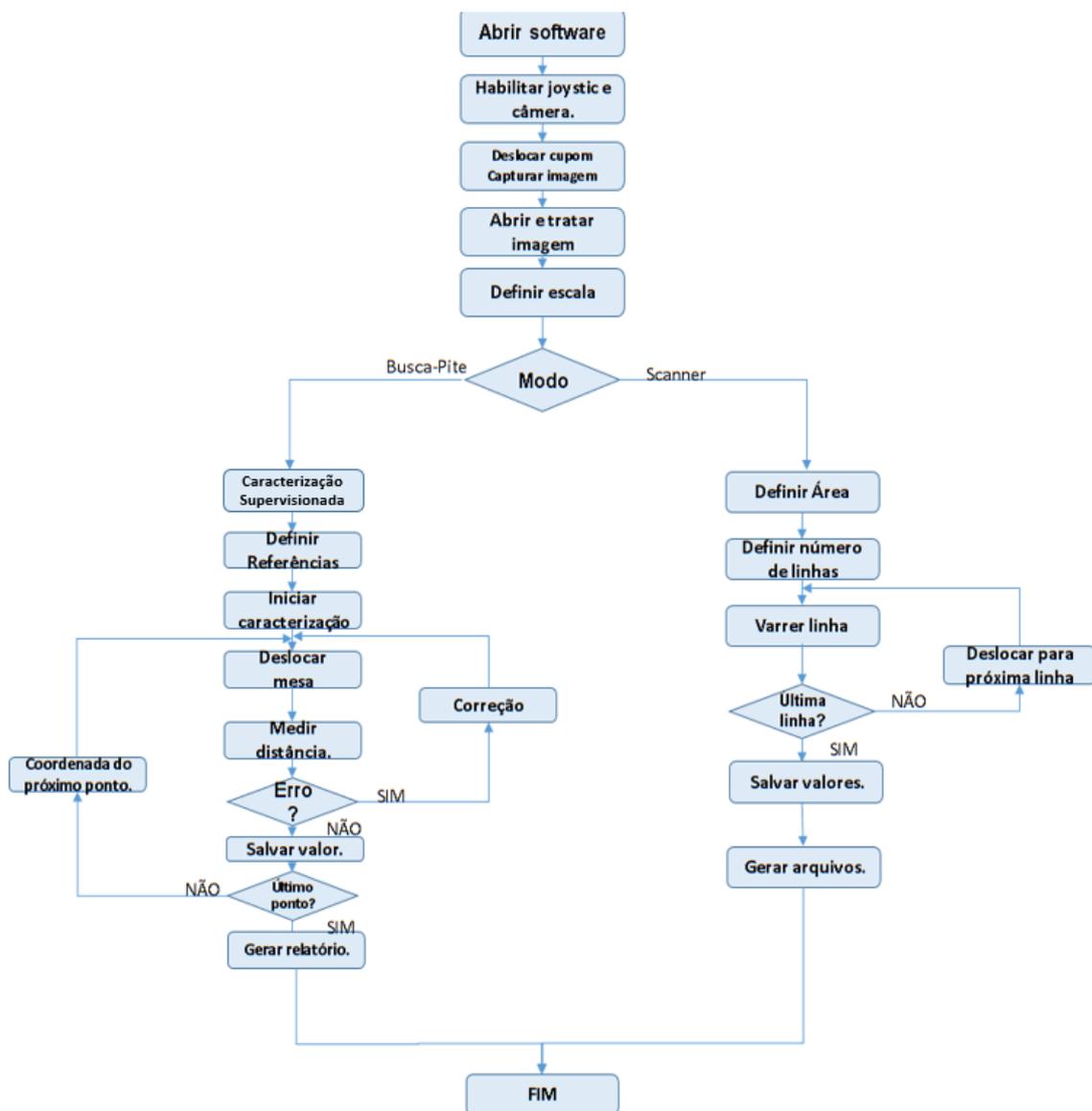


Figura 3.27 – Fluxograma da lógica de operação/funcionamento da máquina.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como finalidade apresentar de forma detalhada o funcionamento e operação da máquina, mostrar a execução dos testes e comparar os seus resultados com os obtidos por outras técnicas.

#### 4.1. Calibragem da Máquina

Para que a máquina produza dados confiáveis, é de extrema importância que esteja bem regulada. Pequenas alterações nos valores que determinam a distância entre o ponto da mesa correspondente ao centro da área de captura da imagem, e o ponto de incidência do feixe de luz do sensor, inviabiliza seu funcionamento.

A calibragem deve ser realizada sempre que o operador notar que ocorreu algum deslocamento, ou do sensor ou do conjunto ótico (microscópio/câmera), vibrações, choques ou mesmo a movimentação da máquina podem gerar este problema.

Esta calibragem é realizada em duas etapas: uma calibragem visual inicial e uma calibragem final, que aumenta a precisão do valor obtido. No final o processo deve gerar valores XCAL e YCAL necessários para a correta utilização da máquina.

##### 4.1.1. Calibragem Inicial

Para a realização desta calibragem devem ser utilizados os software EOS Utility da Canon e o Galiltools que comanda a mesa XY. Um objeto para testes também deve ser utilizado. Este pode ser um cupom de corrosão que apresente pites de área grande o suficiente para que sejam identificados a olho nu.

Este cupom deve ser fixado na mesa com o auxílio de uma fita adesiva dupla face (Figura 4.1). Com a câmera ligada, o software EOS Utility, no modo Live View, e o GalilTools, em funcionamento e conectado ao controlador, pode-se iniciar o processo.



Figura 4.1 – Cupom fixado na mesa XY.

A primeira etapa é habilitar o movimento via joystick por meio do comando `XQ#JOYS`, no terminal do Galiltools. O operador deve então deslocar a mesa até que um pite escolhido esteja centralizado na imagem que aparece no EOS Utility (Figura 4.2). O software permite o aparecimento de duas linhas, uma horizontal e outra vertical, que cortam a imagem em quatro partes iguais. Assim, o ponto de interseção entre as duas linhas é o centro da imagem. É importante ressaltar que o pite utilizado como referência deve ser identificado também a olho nu. Isto será importante para as etapas seguintes do processo de calibragem.

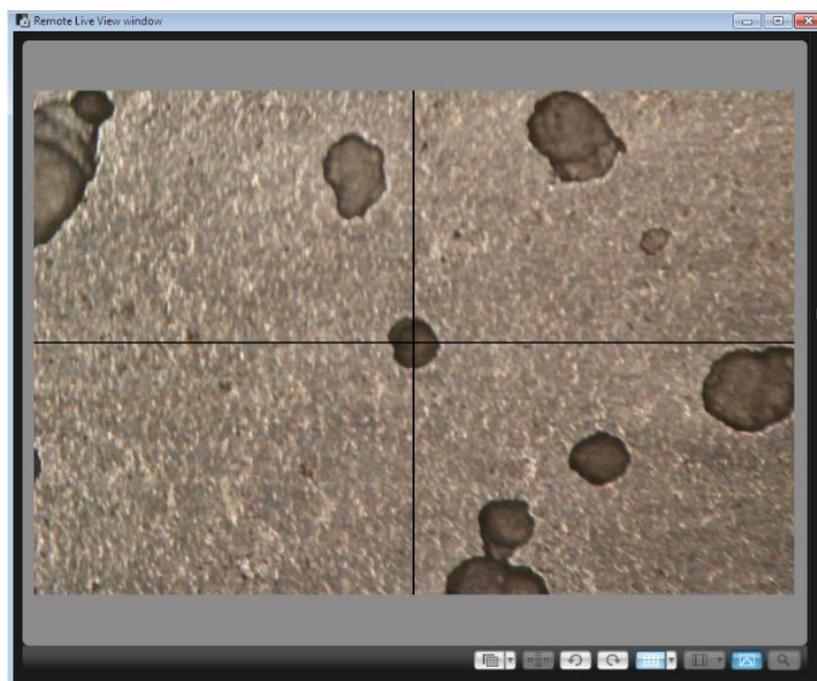
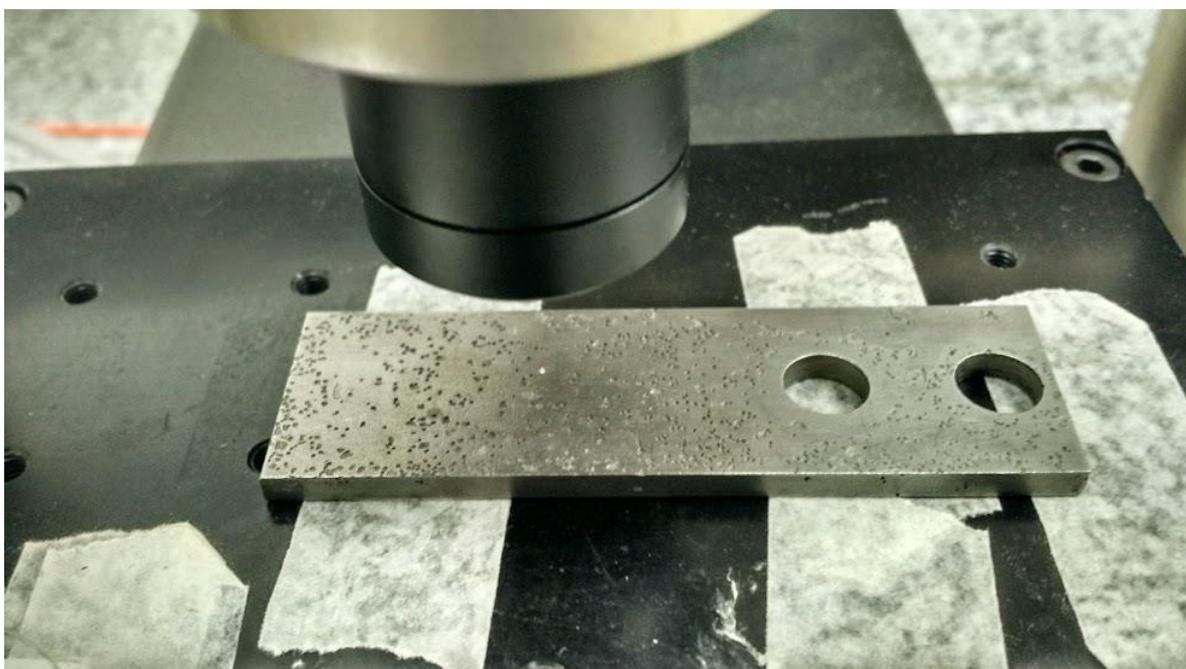


Figura 4.2 – Pite centralizado no EOS Utility.

Após deslocar a mesa de forma a centralizar o pite de referência, deve-se escrever no terminal do GalilTools o comando “TP”. Este comando irá retornar as coordenadas atuais da mesa, o operador deve anotar esta informação.

Habilitando mais uma vez a movimentação da mesa via Joystic, deve-se reposicionar o cupom de forma a alocar o feixe de luz do sensor dentro da cavidade do pite (Figura 4.3). Isto deve ser feito a olho nu ou com o auxílio de uma lupa se necessário. Após posicionar o pite, mais uma vez deve ser enviado um comando de “TP” pelo Galiltools.



**Figura 4.3- Pite alocado no ponto de incidência do feixe de luz.**

Com a posse das duas coordenadas, a primeira que indica o ponto em que o pite está posicionado no centro da imagem e a segunda que indica o ponto em que o mesmo pite está posicionado no ponto em que o feixe de luz do sensor incide, torna-se possível determinar a distância entre os dois e assim, com uma simples subtração, determinar o valor de XCAL e YCAL.

Como esta primeira etapa do processo é visual, ela não possui a precisão necessária para o posicionamento correto da mesa, mas já serve para fazer a varredura de uma determinada área que gerará dados que permitirão o ajuste correto destes valores.

### 4.1.2. Calibragem Fina

A segunda etapa utiliza o recurso de varredura *ONFLY* da máquina para refinar os valores de *XCAL* e *YCAL*. Essa etapa da calibragem utiliza o recurso *Scanner On-Fly* e serve como descrição do funcionamento da mesma.

Com o GalilTools e o EOS Utility fechados, deve-se iniciar o PETROCORRO-SÃO. No software devem ser habilitados o Joystic e a câmera, e deslocar a mesa até um ponto em que o pite de referência possa ser visualizado (não existe a necessidade de centralizá-lo nessa etapa). Deve-se então clicar no botão “capturar foto” e salvá-la. A próxima etapa é desabilitar a câmera, abrir a foto e determinar a escala, se essa já estiver salva, caso contrário deve-se realizar o processo de definir a escala (etapa que será descrita no próximo tópico). O operador clica na opção modo scanner, seleciona a área do pite de referência e aguarda o resultado que deve sair em alguns minutos (Figura 4.4).

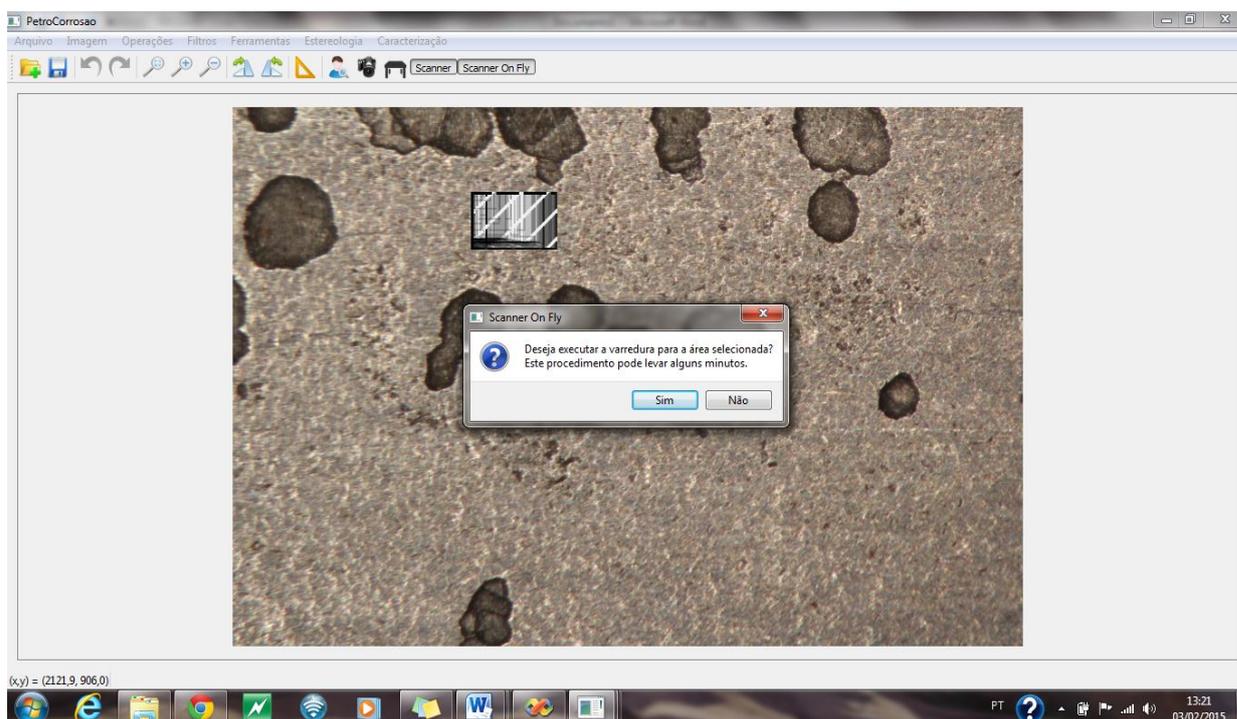


Figura 4.4-Área do pite sendo selecionada para a varredura.

Finalizado o processo de varredura, o software avisa ao usuário e gera dois arquivos, o arquivo *\_medições\_onfly.txt* e o arquivo *\_geraimagem.txt*. A partir das informações contidas nestes arquivos é possível identificar com maior precisão a coordenada do ponto central do pite. Assim, o arquivo *\_gera\_imagem.txt* deve ser aberto

no Excel. O fundo do pite pode ser identificado mesmo sem o auxílio de gráficos. Para facilitar, é interessante apagar todos os valores 100 que identificam erro. Assim deve-se determinar o valor do ponto central, copiar esse valor e buscar as coordenadas do mesmo no arquivo\_medição\_onfly.txt Com posse das coordenadas e fazendo a subtração entre elas são obtidos valores mais precisos de XCAL e YCAL.

#### 4.1.3. Calibragem da Escala

Este processo pode ser realizado durante a caracterização do cupom, mas como geralmente os cupons apresentam dimensões semelhantes, por conta da padronização de seu formato e dimensões, o dado de escala pode ser aproveitado de um teste anterior. Para cada valor de ajuste do aumento do microscópio existe uma relação entre o número de pixels e a distância em  $\mu\text{m}$ . Por isto, qualquer que seja o teste que utilize, o mesmo aumento pode aproveitar o valor de escala de um teste anterior de aumento igual.

O processo inicia-se ligando todos os equipamentos e iniciando o software. Então deve-se habilitar a câmera pelo botão correspondente para que se possa visualizar a régua (Figura 4.5) que está alocado sobre a mesa. O deslocamento é feito via joystick, que também deve ser habilitado.

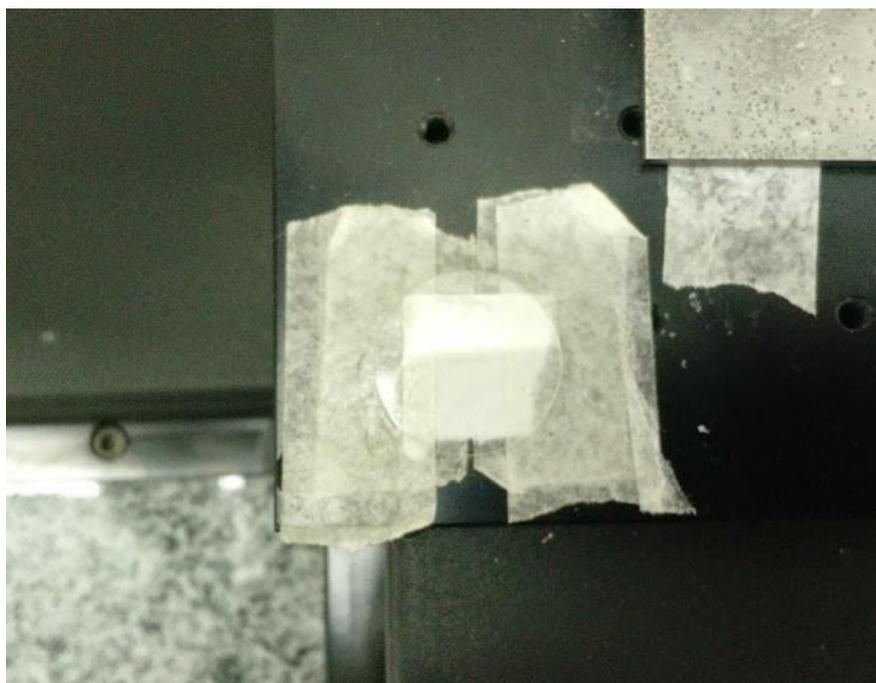
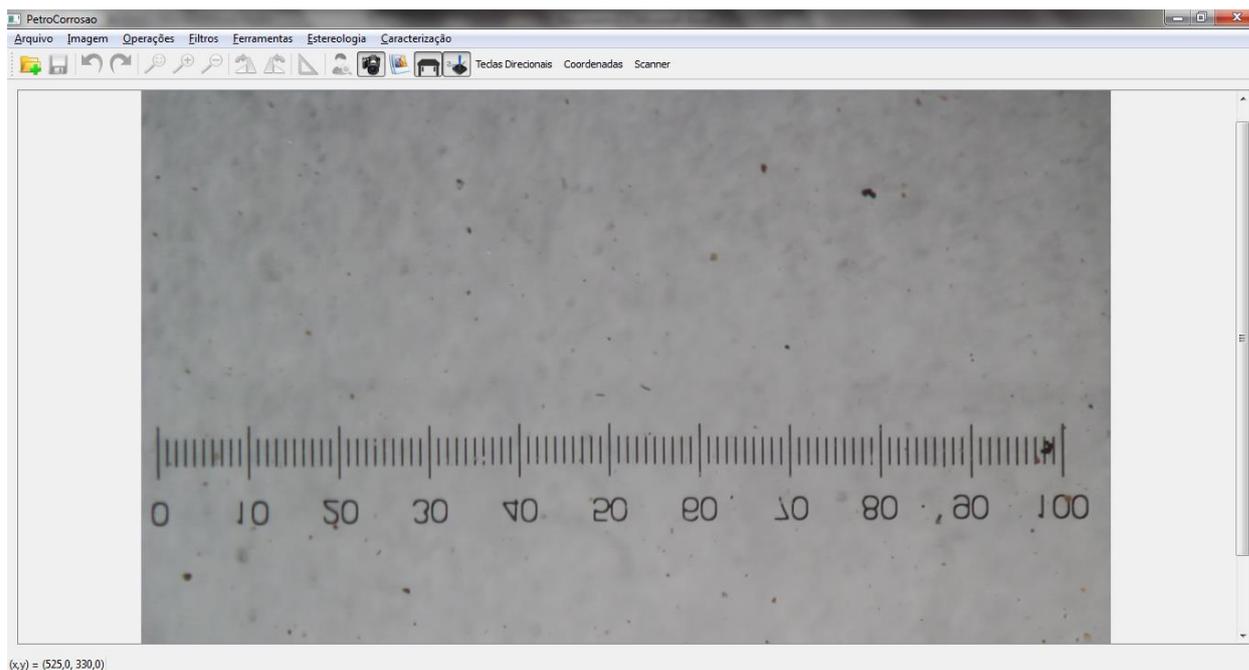


Figura 4.5 – Régua visualizado a olho nu.

O operador deve então deslocar a mesa, até que a régua seja visualizada na tela (Figura 4.6). Devido a um problema ainda não solucionado a imagem no modo “ao vivo” fica invertida, após salva a foto fica na posição correta. Dependendo do aumento utilizado, pode não ser possível visualizar toda a régua, mas deve-se sempre utilizar a maior extensão dela possível para determinar a escala. Deve-se então capturar a foto e salvá-la.



**Figura 4.6- Régua visualizada pelo software.**

Com a foto salva a câmera deve ser desativada e a foto que foi salva aberta. Com isto o operador deve ir em Ferramentas-> Escala e traçar uma linha na maior extensão possível da escala. A escala é graduada e sua extensão total é de 5mm ou 5000 $\mu$ m. O operador deve então escrever na tela que aparece (Figura 4.7) a extensão do traço em microns. Caso não tenha sido possível traçar a linha sob toda a extensão da régua, deve se escrever o valor proporcional. Assim, após calculado e salvo, esse valor poderá ser utilizado nos testes.

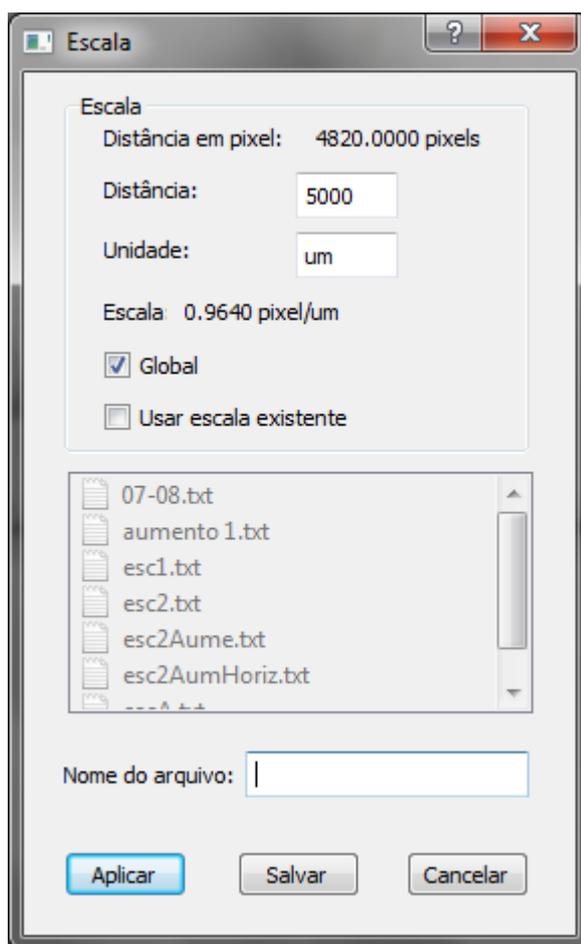


Figura 4.7 – Janela de determinação da escala.

## 4.2. Operação da Máquina

Os tópicos a seguir mostram as etapas das formas de operação da Máquina Busca-Pite.

### 4.2.1. Caracterização dos Pites

Primeiro deve-se fixar o cupom na mesa com auxílio de uma fita crepe dupla face, para impedir que o deslocamento da mesa não mude a posição do cupom referente à própria mesa.

Deve-se assegurar que todos os equipamentos estejam ligados, a câmera, por exemplo, desliga-se automaticamente para economizar bateria. Além disso, o computador deve estar conectado ao roteador, responsável por intermediar a comunicação entre os dispositivos.

Então, com o PETROCORROSÃO aberto, a primeira ação a ser realizada é habilitar a câmera em visualização ao vivo e o joystick, para deslocar a área do cupom que se quer caracterizar, para o campo de visão do microscópio e ajustar o foco de forma que a imagem fique nítida. Se o aumento do microscópio estiver em um valor já utilizado antes, pode-se aproveitar a escala correspondente, caso contrário deve-se realizar o processo de determinar a escala, descrita no tópico anterior, e só depois retornar ao cupom e capturar a foto. Com a foto capturada e salva, deve-se desabilitar a visualização em tempo real da câmera e abrir a foto. Ir em ferramentas-escala e especificar o valor de escala a ser utilizado(Figura 4.8).

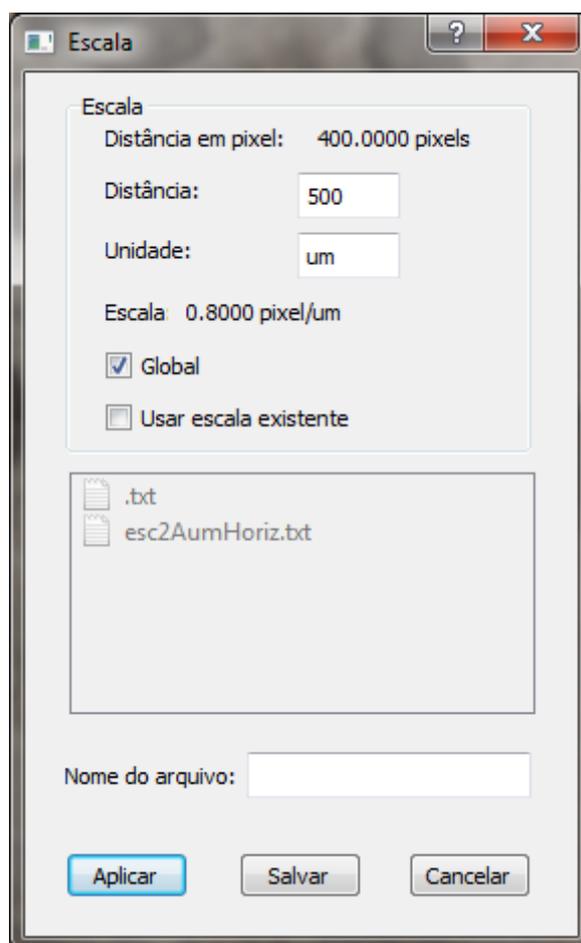
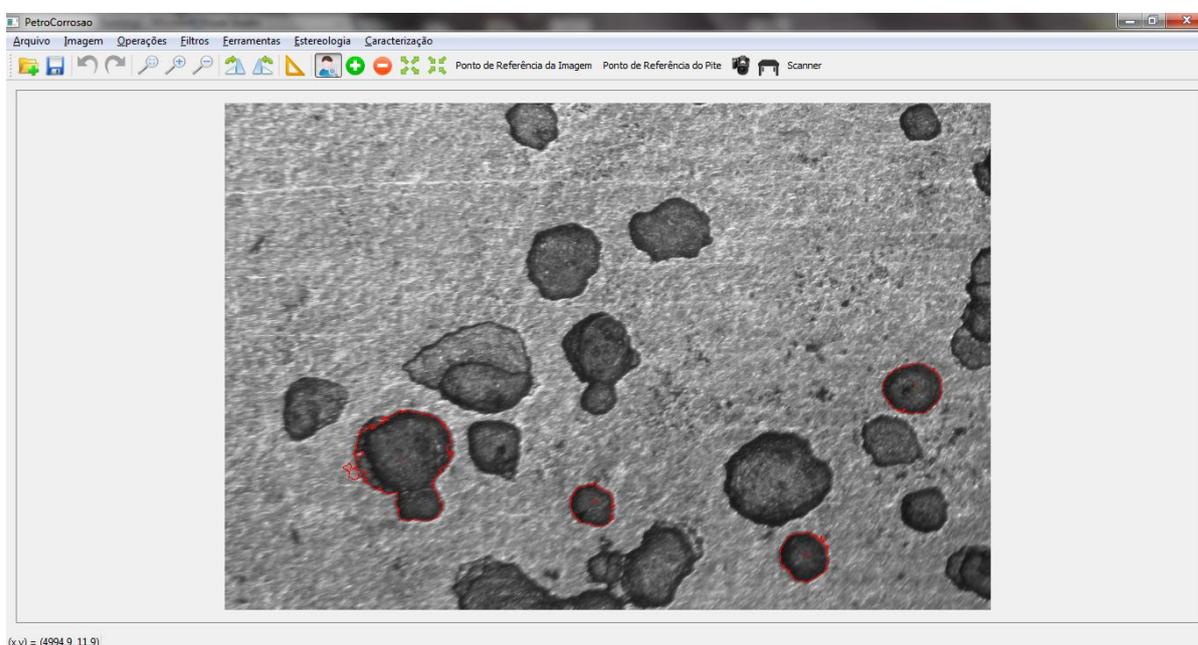


Figura 4.8 – Especificando a escala a ser utilizada.

Deve ser realizado então o tratamento da imagem; Geralmente é necessário transformar a foto em monocromática, o que facilita a determinação pelo software dos

pites presentes na imagem. Então inicia-se o processo de segmentação supervisionada. Para selecionar um pite deve-se clicar no botão com o símbolo de + e clicar em um ponto qualquer de um pite. O programa o identificará e selecionará a sua borda em linha vermelha (Figura 4.9). Assim, pode-se continuar selecionando todos os pites que se queira analisar na imagem. Quando um pite é selecionado, o software identifica seu centroide para ser medida, mas isto pode ser alterado pela opção “ponto de referência no pite”, onde o usuário pode determinar outro ponto qualquer dentro da região do pite a ser medido. Para que se possa medir a profundidade é necessário um ponto de referência, para que seja calculada a diferença entre as distâncias, da referência e o ponto interno do pite.



**Figura 4.9 – Pites selecionados pelo software.**

Então o operador deve solicitar que seja realizada a análise dos pites no menu caracterização, com a opção medir profundidade habilitada (Figura 4.10). Assim, a mesa começará a ler os pontos indicados. Ao final do processo, o programa gerará um relatório com todas as informações necessárias para a caracterização (Figura 4.11). Entre elas a profundidade dos pites.

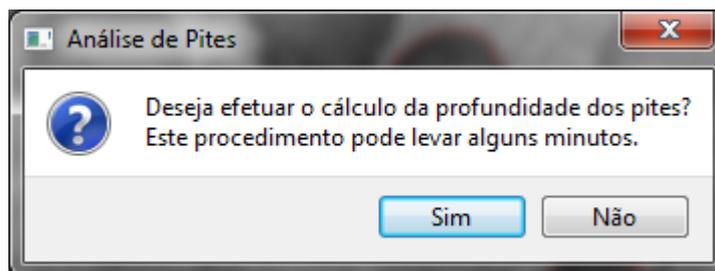


Figura 4.10 – Tela que habilita a medição da profundidade dos pites.

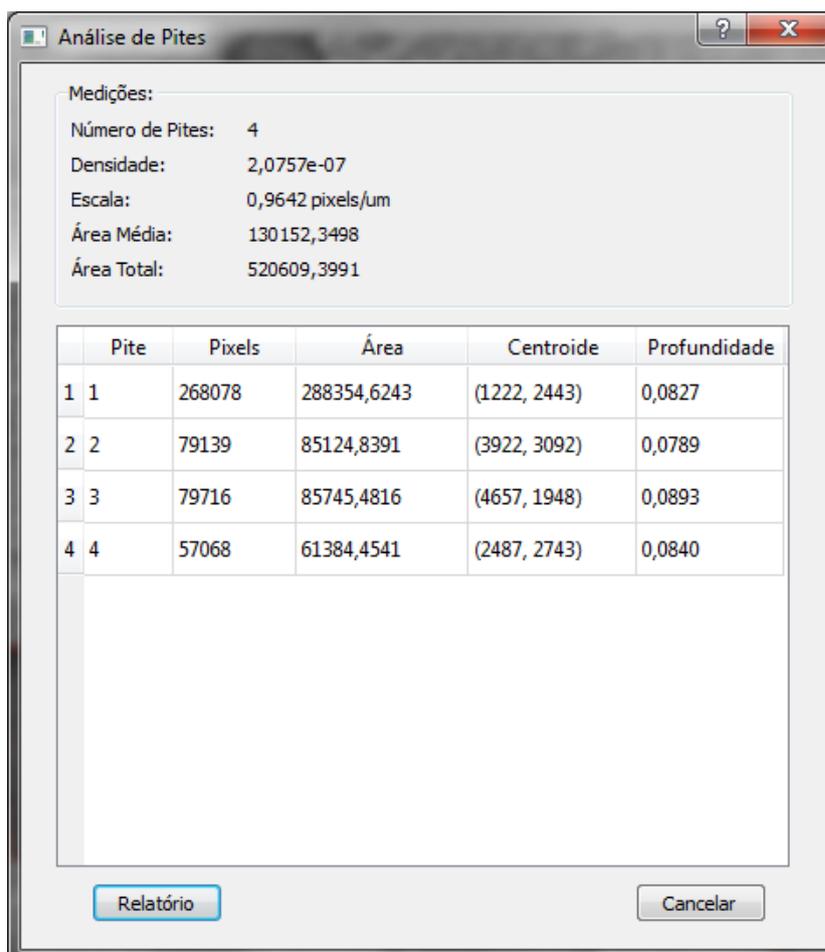


Figura 4.11-Relatório final do programa com a medição da profundidade.

#### 4.2.2. Modo Scanner 3D

O modo scanner segue as mesmas etapas iniciais do método busca-pite. Modifica apenas na etapa caracterização, que deve ser substituído pela etapa scanner 3D. E ao invés de selecionar pites individualmente deve-se, com o mouse, selecionar uma determinada área do cupom que será varrida. O processo já foi descrito anteriormente quando foi mostrada a calibragem fina da mesa.

### 4.3. Testes de Operação do Método Busca-Pite

Para testar a viabilidade da máquina Busca-Pite, uma equipe do projeto PETROCORROSÃO, está produzindo um estudo comparativo de sua utilização, com a técnica convencional (microscópio ótico) e com a técnica que utiliza microscópio confocal. Os dados apresentados nesta dissertação são informações parciais daquele estudo, obtidas da análise de um cupom de corrosão de aço inoxidável do tipo T9. Este cupom possui geometria retangular e dimensões de 73,2 x 22,3 x 3,1 mm. Os testes utilizam o chamado método direto, onde, os mesmos pites são medidos com as diferentes técnicas.

Serão comparados os valores obtidos de área e de profundidade dos pites apresentados na Figura 4.12. A imagem mostra os pites encontrados em uma determinada seção do cupom.

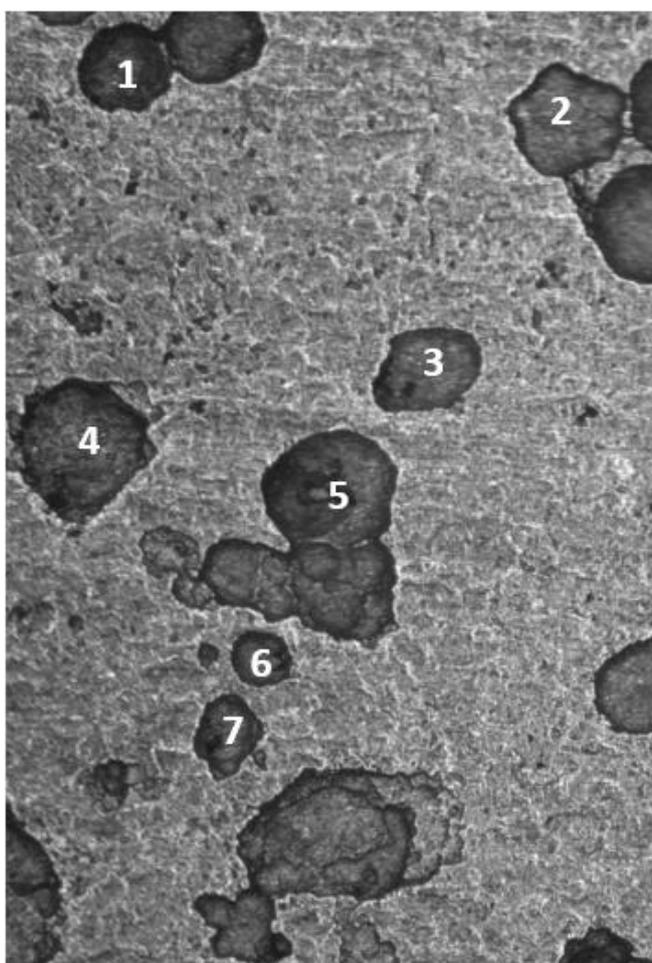


Figura 4.12 –Pites encontrados em uma determinada seção do cupom.

### 4.3.1. Comparação entre a Área dos Pites

A medição da área dos pites era um recurso já presente na antiga versão do software PETROCORROSÃO. A mesma região da foto anterior foi buscada na amostra e capturada pelo Busca-Pite. Os pites foram selecionados como mostra a Figura 4.13. A Tabela 4 apresenta os valores de área obtidos após a seleção dos pites.

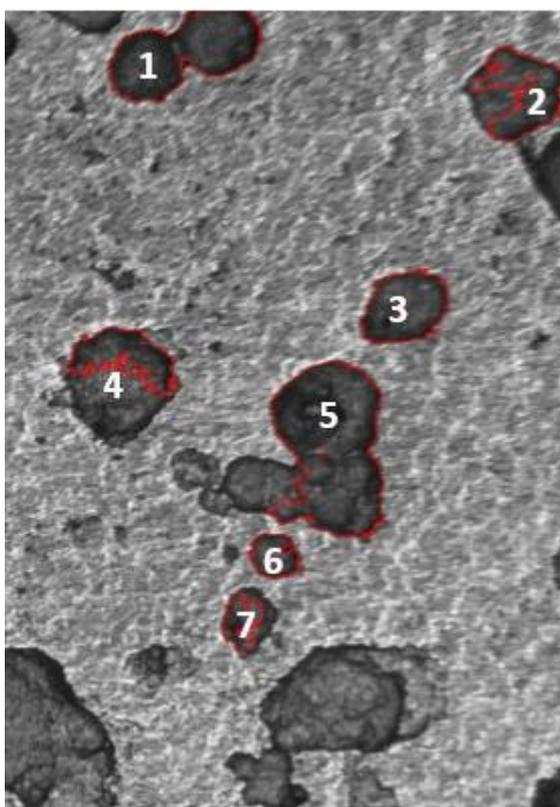
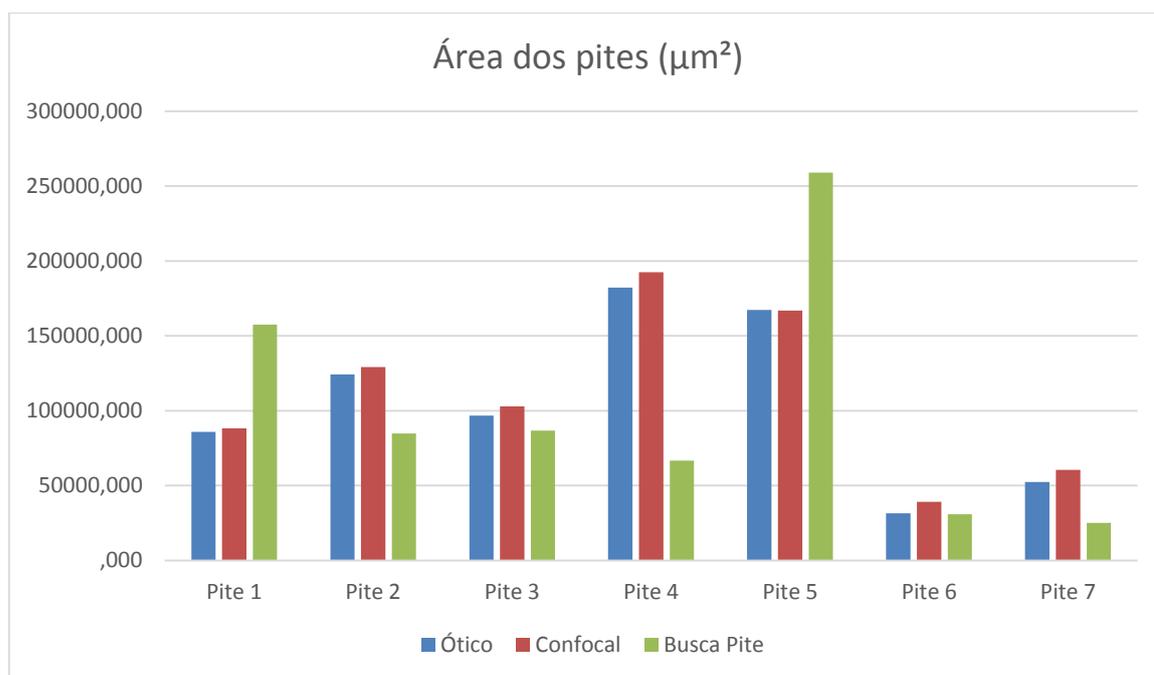


Figura 4.13 – Pites selecionados no software PETROCORROSÃO.

Tabela 4: Área dos pites utilizando as diferentes técnicas (valores em  $\mu\text{m}^2$ ).

Pite	Área (Ótico)	Área(Confocal)	Área(Busca Pite)
1	85831,89	88172,2	157545,3292
2	124291,09	129247,773	84945,2077
3	96764,08	102944,275	86801,7572
4	182223,67	192490,915	66757,2611
5	167443,09	166906,161	259138,1712
6	31633,87	39114,79	30844,9675
7	52467,21	60443,824	25193,5706

Fonte: Projeto Petro-Corrosão, UENF-PETROBRAS(2015)



**Figura 4.14 – Área dos pites.**

As áreas obtidas pela máquina Busca-Pite nos pites 3 e 6 apresentaram valores consistentes em relação as outras técnicas. Observando a Figura 4.13 se identifica que a área demarcada pelo software Petrocorrosão é realmente a área do pite.

Já os pites 1 e 5 apresentaram valores muito maiores em relação aos apresentados pelas outras técnicas, analisando a Figura 4.13 mais uma vez é possível identificar que se tratam de pites que possuem junto a eles outros pites congruentes, o software não foi capaz de separar as áreas destes pites identificando-os como um só pite maior que o original e por consequência com um área maior.

Já no caso dos pites 2, 4 e 7 as características morfológicas do pite acabou produzindo uma imagem com regiões internas do mesmo muito claros o que fez o software identificar os pites com áreas menores do que as reais, justificando assim a discrepância dos resultados.

### 4.3.2. Comparação da Profundidade dos Pites

Este teste avalia o novo recurso de medição de profundidade, utilizando o sensor confocal em relação às técnicas já conhecidas. A Tabela 5 apresenta os valores de profundidade dos sete pites em estudo, o gráfico (Figura 4.15) faz uma comparação entre os valores.

Tabela 5 – Profundidade dos pites utilizando as três técnicas (valores em  $\mu\text{m}$ ).

Pite	Profundidade Ótico	Profundidade Confocal	Profundidade Busca Pite
1	125	137,058	138
2	107,5	127,606	103
3	112,5	127,35	129
4	115	209	114
5	177,5	210,618	171
6	100	112,656	97
7	75	107,758	93

Fonte: Projeto Petro-Corrosão, UENF-PETROBRAS(2015)

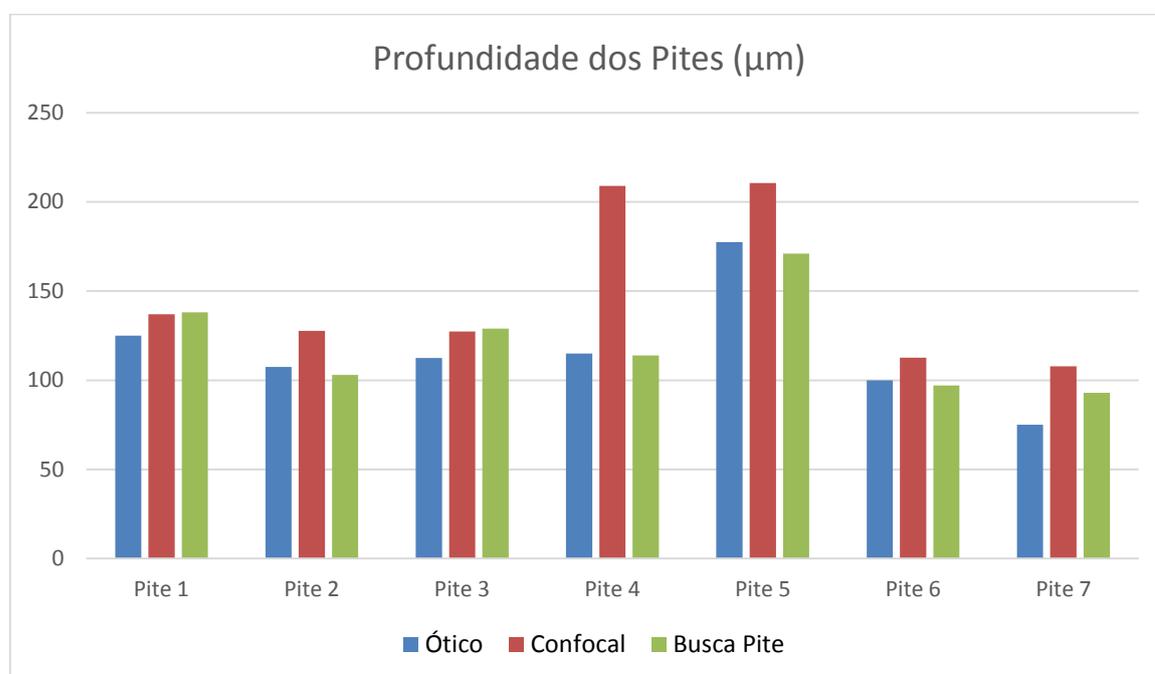


Figura 4.15 – Gráfico com profundidade dos pites.

As três técnicas produziram valores de profundidade de pites bastante próximos, com exceção do pite 4.

#### 4.3.3. Tempos de Medição

Para comparar o tempo que o Busca-Pite demanda para a caracterização de um cupom de corrosão em relação aos outros métodos foi utilizada a chamada técnica indireta. Esta técnica possui como característica não analisar necessariamente os

mesmos pites nos diferentes equipamentos analisados. A busca por pites específicos demandaria muito tempo e esforço do operador, o que prejudicaria os resultados e inviabilizaria a comparação.

Os dados apresentados a seguir foram adquiridos a partir de testes realizados e um cupom de aço inoxidável do tipo T9. O cupom foi dividido em 26 regiões de frente, verso e lateral. Em cada região foram capturadas imagens em posições aleatórias. No total, foram analisadas 58 imagens que representam 15% da área total do cupom. Cada imagem apresentou em média um número entre 8 e 10 pites.

É importante ressaltar que cada técnica possui etapas diferentes e que estas devem ser consideradas para analisar o resultado. E que por se tratar de técnicas que utilizam a supervisão do operador para a identificação e demarcação dos pites a influência da configuração do computador utilizado se torna insignificante em relação aos tempos totais obtidos.

A Tabela 6 mostra o tempo médio para a caracterização pelo método Busca-Pite. Este consumiu em média 5,7 minutos para a caracterização de cada imagem. Para a caracterização de todo o cupom foram então consumidas 5,51 horas, contando a caracterização das 58 imagens.

**Tabela 6 – Tempo médio de caracterização de determinada imagem pelo Método Busca-Pite.**

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tempo gasto (min)</b>
<b>1</b>	Captura da imagem	0,7
<b>2</b>	Segmentação dos pites	4
<b>3</b>	Determinação da densidade, tamanho e profundidade.	1
<b>4</b>	Obtenção dos resultados finais	0
<b>Tempo total consumido</b>		<b>5,7</b>

Fonte: Projeto Petro-Corrosão, UENF-PETROBRAS(2015)

O método convencional tem várias etapas e os tempos médios de cada uma delas são apresentados na Tabela 7. As etapas de 1 a 3, que totalizam 8,7 minutos, são repetidas para cada imagem. Já as etapas 4 e 5 (que consomem juntas 43 minutos) são executadas somente uma vez para realizar a busca e a medição da profundidade dos dez pites mais profundos de todo o cupom. Isto resultaria em um tempo

total de 9,12 horas para caracterização da densidade de pites, tamanho de pites e profundidade apenas dos dez pites mais profundos, não de todos os pites, como faz o Busca-Pite.

**Tabela 7- Tempo médio de caracterização pelo método convencional.**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tempo gasto (min)</b>
1	Captura da imagem	0,7
2	Segmentação dos pites	5
3	Determinação de densidade e tamanho médio dos pites	3
	Tempo parcial consumido por imagem	8,7
4	Determinação da profundidade dos 10 pites mais profundos.	40
5	Determinação da profundidade média dos pites mais profundos.	3
<b>Tempo total consumido</b>		<b>43</b>

Fonte: Projeto Petro-Corrosão, UENF-PETROBRAS(2015)

Por último, as etapas e tempo médio consumido para a realização de cada uma das imagens pelo método confocal, estão na tabela Tabela 8. Ao todo, são necessárias 11,6 horas para fazer a caracterização das 58 imagens com a obtenção da mesma quantidade de informação que o Busca-Pite permite.

**Tabela 8 - Tempo médio de caracterização pelo Método Microscópio Confocal.**

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tempo gasto (min)</b>
1	Captura da imagem	4
2	Segmentação dos pites	2
3	Determinação da densidade, tamanho e profundidade.	3
4	Obtenção dos resultados finais	3
<b>Tempo total consumido</b>		<b>12</b>

Fonte: Projeto Petro-Corrosão, UENF-PETROBRAS(2015)

O método Busca-Pite e o microscópio confocal medem a profundidade de todos os pites segmentados na imagem, algo que seria inviável no método tradicional, que só mede os dez pontos mais profundos de cada cupom. Isto por conta do tempo gasto para a determinação da profundidade de um pite no método convencional ser muito grande. O tempo que se leva no método convencional para determinar a densidade e a área dos pites também se mostrou bastante elevado em relação ao busca-pites.

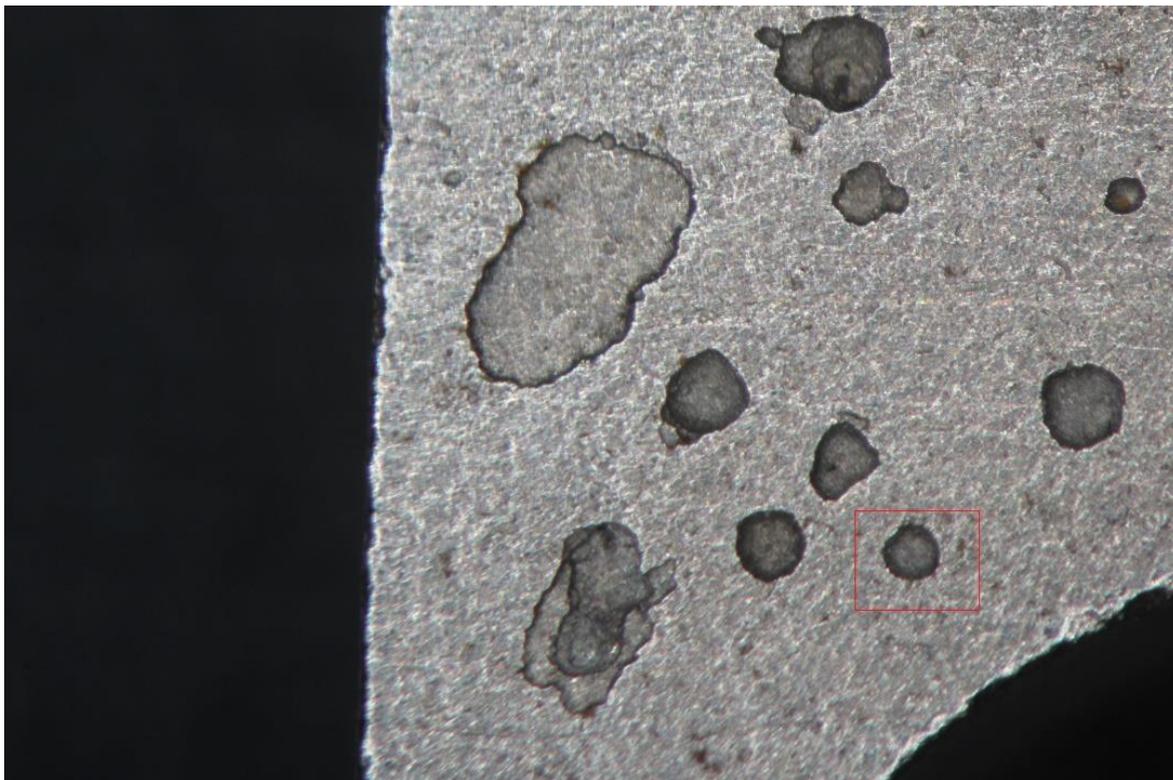
O tempo gasto para a caracterização dos pites via Busca-Pites se mostrou bastante reduzido em relação ao método convencional e ao método que utiliza o microscópio confocal. Isto possibilita a análise de um número maior de amostras em um determinado período se colocado em comparação às outras duas técnicas.

Para a caracterização de todas as imagens de um cupom o tempo médio deve ser multiplicado pelo número total de imagens. Assim, para caracterizar um cupom com as características semelhantes ao do teste serão demandados 5,51 horas com a utilização da máquina Busca-Pite, 9,12 horas pelo método convencional e 11,6 horas pelo método microscópio confocal.

#### **4.3.4. Teste do Modo Scanner**

Para o teste de funcionamento do modo Scanner foi selecionado um pite aleatório no cupom do tipo aço inoxidável T9. Foi realizada a varredura de um pite aleatório (em vermelho na Figura 4.16) e todo o processo durou o tempo de 42 minutos, a dimensão total da área varrida foi de 3900x4200  $\mu\text{m}$ , varrendo um total de 39 linhas.

Velocidades maiores do que a utilizada para a varredura causavam erros de comunicação entre os dispositivos que compõe a máquina, ou impossibilidade de se determinar a posição atual da mesa o que causa resultados não confiáveis. A velocidade foi sendo reduzida até um ponto em que essas falhas fossem eliminadas, mas gerou um tempo alto de varredura.



**Figura 4.16 – Pite selecionado para varredura.**

Os resultados obtidos foram tratados e analisados no Excel. Foi possível obter a distância entre o início do range de leitura do sensor e o ponto de incidência do feixe de luz. Para o cálculo da profundidade esses dados devem passar por um novo tratamento, onde o valor de cada ponto seria subtraído da distância de um ponto de referência.

A região de declive entre a superfície da amostra junto à borda do pite e o fundo do pite, apresentou erros de leitura representados pelo número 100. Na Figura 4.17 todos os números 100 foram apagados para facilitar a visualização da região varrida.



Mesmo sem a utilização de gráficos já é possível identificar a superfície do cupom e o fundo do pite. Observando os valores de leitura também é possível detectar que a região do fundo de pite possui valores de distância superiores à região externa ao pite. Gráficos foram gerados para facilitar ainda mais a visualização, um de vista superior (Figura 4.18), onde se pode visualizar o contorno do pite(em azul), e outro com uma vista lateral, para observar a diferença da distância entre as duas regiões que são o fundo e a superfície em volta do pite. No segundo gráfico (Figura 4.19) os valores em 0 (cor azul escuro) são os erros de leitura que foram eliminados.

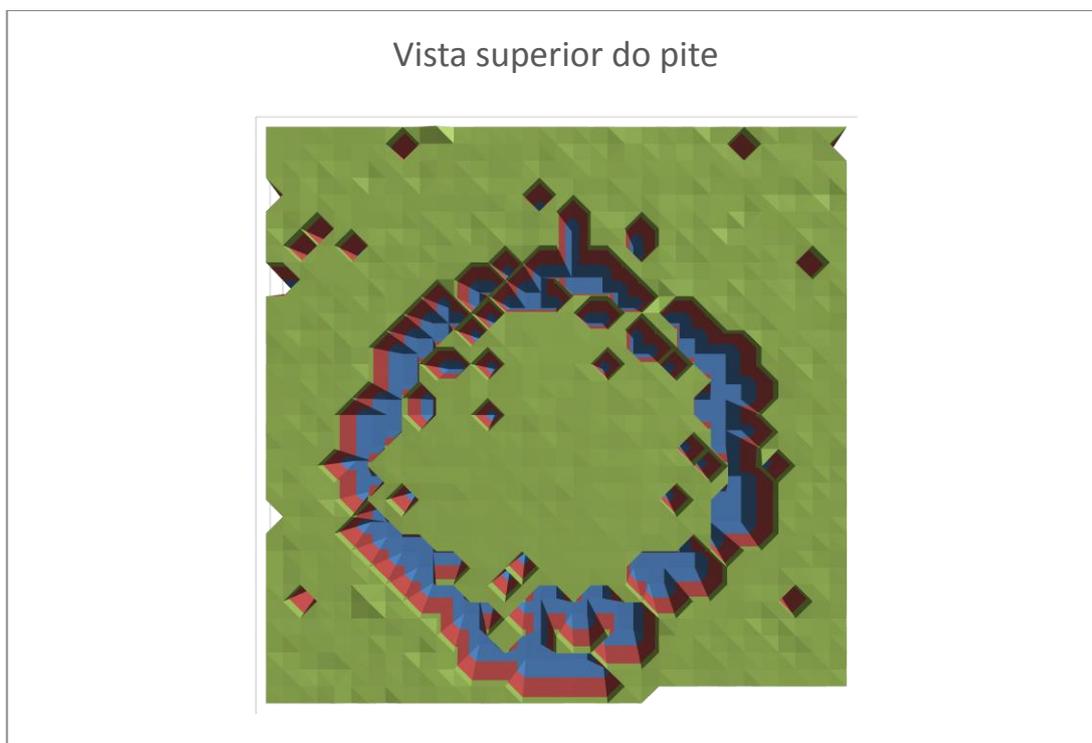


Figura 4.18- Gráfico gerado em excel da vista superior do pite.

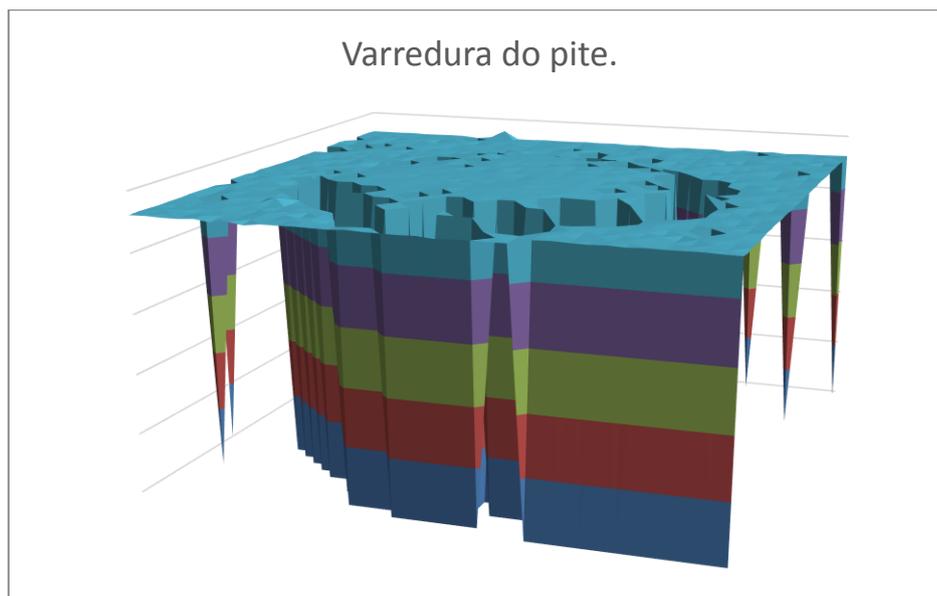


Figura 4.19 – Gráfico que mostra os dois níveis de valores na superfície e no fundo do pite.

#### 4.4. Resultados dos Testes

O tempo de segmentação dos pites é semelhante ao da técnica convencional. O processo de identificar os pites presentes nas imagens, mesmo que utilizando estratégias diferentes, se equivalem quanto ao tempo que levam para finalizar o processo.

O método Busca-pite funciona determinando a profundidade de todos os pites segmentados, enquanto a norma aceita que a média dos dez pites mais profundos seja o suficiente para determinar o fator de corrosão por pites. A utilização de uma nova técnica que executasse a medição apenas dos pites mais profundos incidiria em uma redução no tempo de caracterização do cupom.

É comum o aparecimento de pites que se aglutinam, isso acontece quando durante o processo de corrosão dois ou mais pites em crescimento entram em contato. Com o tempo, a tendência é que esses pites formem um pite maior. A técnica de segmentação da máquina Busca-Pite identifica sempre esses pites aglutinados como um só, o que pode influenciar nas informações obtidas sobre a área e a profundidade dos pites, já que se o operador não mudar o ponto de medição o mesmo será o centroide do pite aglutinado o que geralmente não é o ponto mais profundo do pite. Dependendo do contraste do pite na foto a segmentação também pode selecionar áreas menores que a real, isso pode ser resolvido com o tratamento correto da imagem. Em

outras situações, devido ao baixo contraste na imagem em regiões internas do pite, o Petrocorrosão pode identifica-lo como uma área menor do que a real. O tratamento da imagem e a supervisão do operador diminui a possibilidade desses erros.

O sensor confocal utilizado na máquina possui a limitação de realizar a medição de distância apenas quando a reflexão do feixe de luz possuir um ângulo inferior a 22 graus. A incidência do ponto de medição em uma região de grande declive ocasiona erros de leitura, por causar uma reflexão do feixe de luz em ângulos superiores a 22 graus. Isso se mostrou comum na região que fica entre a superfície e o fundo do pite. No modo Busca-Pite, mesmo com os deslocamentos de correção em alguns pontos não foi possível encontrar um ponto dentro do pite que permitisse a leitura da profundidade, pois a intensidade do sinal refletido se mostrou insuficiente para efetuar a medição, devido a baixa refletividade do material decorrente da alta rugosidade do cupom. Mesmo em cupons poucos rugosos certos pontos apresentavam baixa refletividade.

Já no modo Scanner, para que a mesa seja capaz de identificar a posição e enviar o sinal de leitura para o computador, que por sua vez grava o valor calculado pelo sensor, a velocidade da mesa deve ser baixa. Velocidades maiores não garantem a fidelidade entre os valores de distância e de posição e muitas vezes ocasionam travamentos da comunicação entre PC e sensor. A varredura de uma área pequena da superfície pode levar horas por conta dessa limitação de velocidade. Além disso, quando ocorre um erro de leitura da distância do pite, identificado pelo número 100, o modo Scanner não é capaz de interromper a varredura para a correção deste valor como ocorre no modo Busca-Pite. As áreas de declive do pite costumam apresentar erros de leitura por conta da baixa reflexão, assim o método atual gera uma nuvem de pontos em que é possível identificar a borda e o fundo do pite, mas muito pouco consegue ser determinado da característica da área de declive entre os dois.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÃO**

Neste trabalho foi apresentado o processo desenvolvimento de uma máquina que possibilita a caracterização da corrosão por pites em cupons. A máquina é capaz de posicionar a amostra, capturar a imagem, analisar a imagem via software determinando as coordenadas de cada pite e deslocar a amostra de forma a medir a profundidade do pite por meio de sensor ótico do tipo confocal.

O método Busca-Pite se mostrou apto a substituir as técnicas convencionais utilizadas, por ser mostrar mais rápido e assim permitir a aquisição de um maior número de informações em menos tempo. Em comparação as outras técnicas os valores de leitura se mostraram confiáveis,mas o Busca-Pite não necessariamente obtém o valor da profundidade do ponto mais profundo do pite.

O método Scanner é capaz de fazer a varredura do pite e obter os valores de distância da superfície em volta do pite e do fundo do pite, mas a inclinação do declive presente entre as duas regiões gera erro de leitura por conta de uma limitação do sensor Confocal. Para evitar erros de leitura e comunicação a velocidade do método acabou reduzida, gerando um tempo alto de varredura.

## CAPÍTULO 6

### TRABALHOS FUTUROS

Apesar dos resultados satisfatórios, melhorias podem ser implementadas à máquina de forma a obter resultados mais precisos, superando as limitações encontradas com a utilização do sensor confocal. Entre as possibilidades está a implementação de uma estratégia de captura de múltiplas imagens de uma mesma área com uma pequena distância entre a distância do cupom e a lente do microscópio. Com as configurações de foco do microscópio fixas cada foto apresentaria um plano diferente de foco, podendo assim determinar a distância entre aquele ponto e o microscópio. Analisando desta maneira todas as imagens seria possível mapear toda a área de uma só vez, determinando a profundidade de cada um dos pontos. Isto permitiria uma análise do cupom sem as limitações encontradas na geração atual da máquina quanto a regiões de alta rugosidade e permitiria um escaneamento de toda a região da imagem em um período de tempo reduzido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT 6210 NBR. (2008). Corrosão atmosférica- Materiais metálicos - Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão. ISBN 978-85-07-01103-3, p. 9p.
- Albuquerque, M. P., & Albuquerque, M. P. (2000). *Processamento de Imagens: Métodos e Análises*. Rio de Janeiro, Brasil: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF/MCT.
- Alves, G. M. (2006). *Método Fundamentado em Processamento Digital de Imagens para Contagem Automática de Unidades Formadoras de Colônias*. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - São Paulo - SP, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 105 p.
- Arruda, E. A. (2009). *Estudo Comparativo do Processo Corrosivo do Aço Patinável e do Aço Carbono Comum*. Monografia (Engenharia Mecânica) - Belém - PA, Universidade Federal do Pará - UFPA, 80p.
- ASTM - G46-94. (2005). Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion1.
- Ataide, T. P., & Pimentel, R. C. (Dezembro de 2011). Segmentação de Imagens Aplicada a Jogos. *Reverte*(9).
- Azevedo, E., & Conci, A. (2003). *Computação gráfica: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Campus.
- Davis, J. R. (2000). *Corrosion: Understanding the Basics*. ASM International.
- Dexter, S. (1987). Localized corrosion. *Corrosion*(13), 104.
- F. Mauch, W. L. (2013). Model based assistance system for confocal measurements of rough surfaces. *Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VIII*.
- Fábrio Merçon, P. I. (2004). Corrosão: Um exemplo de fenômeno químico. *Química Nova na Escola*.
- Felisberto, M., Schneider, G., Pilkel, L., Centeno, T., & Arruda, L. (2004). Identificação Automática de Tubulação em Imagens Radiográficas e Detecção de Corrosão. *3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*.
- Fernandes, J. C. (2010). *Desenvolvimento de um Dispositivo Tipo Carga Constante para Avaliação da Susceptibilidade à Corrosão Sob Tensão de Aço Inoxidável*

- Austenítico*. Dissertação (Mestrado em Materiais para Engenharia) - Itajubá - MG, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 94 p.
- Ferreira, L. A., Costacurta, R. F., Alberti, S. M., & Zdebsky, S. R. (2002). *Curso de Formação de Operadores de Refinaria - Química Aplicada - Corrosão*. Curitiba: UnicemP.
- Filho, J. B., Silva, S. A., Araújo, C. S., & Filho, A. F. (2010). Controlador Vetorial Neural para Mesa de Coordenadas XY. *Revista Controle & Automação*, 406-424.
- Galvele, J. R., Frankenthal, R. P., & Kruger, J. (1978). Passivity of metals. *The electrochemical Society*.
- Gemelli, E. (2014). *Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização*. Rio de Janeiro: LTC.
- Gentil, V. (1996). *Corrosão*. (3 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Gerhardus H. Koch, M. P. (2001). *Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States*. NACE International.
- Gomes, O. F. (2001). *Processamento e Análise de Imagens Aplicados à Caracterização Automática de Materiais*. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Metalúrgica) - Rio de Janeiro - RJ, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC- Rio, 141p.
- Gonzalez, R., & Woods, R. (2002). *Digital Image Processing*. (2 ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Grosser, P. (2006). Ultrasonic Detection and Measuring of Isolated or Pitting Corrosion. *12th A-PCNDT*, p. 7p.
- H Noura, N. E.-H. (2014). Metrological characterization of optical confocal sensors. *Journal of Physics: Conference Series* 483, 13p.
- Hall, E. L. (1979). *Computer Image Processing and Recognition*. New York: Academic Press.
- Hanlon, D., Todda, I., Peekstok, E., Rainforth, W., & Zwaag, S. v. (2001). The application of laser scanning confocal microscopy. *Wear* 251, 1159-1168.
- Huang, Y., Wei, C., Chen, L., & Li, P. (2014). Quantitative correlation between geometric parameters. *Engineering Failure Analysis*, 168-178.
- Itzhak, D., Dinstein, I., & Zilberberg, T. (1981). Pitting corrosion evaluation by computer image processing. *Corrosion Science*, 21(1), 17-22.
- Jurgen Gelzi, M. Y. (s.d.). Problems in Quantification of Pitting Corrosion.

- Kapsalas, P., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Zervakis, M., Delegou, E., & Moropoulou, A. (2007). Optical inspection for quantification of decay on stone surfaces. *NDT&E International*, 40(1), 2-11.
- Marques Filho, O., & Vieira Neto, H. (1999). *Processamento Digital de Imagens*. Rio de Janeiro: Brasport.
- Merçon, F., Guimarães, P. I., & Mainier, F. B. (2004). Corrosão: Um Exemplo Usual de Fenômeno Químico. *Química Nova na Escola*(19).
- Micro-epsilon. (s.d.). Confocal chromatic measurement system. Ortenburg, Alemanha.
- Micro-epsilon. (s.d.). OptoNCDT 2401/2402 Non-Contact Displacement and Thickness Measuring - Instruction Manual. Ortenbrug, Alemanha.
- NACE International. (2005). *Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations*. Houston: NACE International.
- Nanovea. (2014). Pitting Corrosion Measurement Using 3D Profilometry.
- Nogueira, I. L. (2013). *Desenvolvimento de Software para Identificação e Caracterização de Pites de Corrosão em Cupons*. Campos dos Goytacazes-RJ: UENF- Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66.
- Passaglia, E. (1979). *The Economic Effects of Corrosion Research, Corrosion* (Vol. 35).
- Pereira, E., Silva, A., Rocha, R. P., Figueira, M., Finamores, D. J., Paivas, M. H., & Salvador, A. (2013). Caracterização de Cupons de Corrosão Produzidos por Diferentes Fornecedores. *Coteq*, (pp. 1870-1881).
- Pereira, M. C. (2010). *Estudo morfológico e cinético da corrosão por pites em liga de alumínio 1050*. : Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Guaratinguetá - SP. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.
- Picon, C. A. (3 de 2010). Estudo do mecanismo de corrosão por pites em água do mar de aços inoxidáveis supermartensíticos microligados com Nb e Ti. *Revista Escola de Minas*, 63(1), 65-69. Acesso em 30 de 12 de 2014, disponível em Scielo: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672010000100011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672010000100011&lng=en&nrm=iso)
- Ponte, H. d. (2003). *Fundamentos da Corrosão*. LABORATÓRIO DE ELETROQUÍMICA APLICADA - UFPR. Fonte: LABORATÓRIO DE

ELETROQUÍMICA APLICADA - UFPR:  
<http://www.gea.ufpr.br/arquivos/lea/material/Apostila%20Corrosao.pdf>

- Prateepasen, A. (2012). Pitting Corrosion Monitoring Using Acoustic Emission. *Intech*.
- Quiumento, F. (14 de Dezembro de 2011). *knowledgeispowerquiumento*. Acesso em 13 de Julho de 2013, disponível em <http://knowledgeispowerquiumento.wordpress.com/article/corrosao-por-pites-2tlel7k7dcy4s-94/>
- R Leiva-Garcia, J. G.-A. (2010). Contribution to the elucidation of corrosion initiation through confocal laser. *Corrosion Science* 52, 2133-2142.
- Revista Química e Derivados. (31 de Julho de 1996). Corrosão: Novas Soluções para o Problema. *Revista Química e Derivados*(340).
- Ribeiro, R., Hein, L., & Codaro, E. (2005). ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS PITES NOS MATERIAIS RESISTENTES À CORROSÃO. *IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação* (pp. 1306-1309). Universidade do Vale do Paraíba.
- Riella, H. G. (2009). *Apostila de corrosão*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Materiais e Corrosão-LABMAC.
- Rugolo, J., Erlebacher, J., & Sieradzki, K. (12 de Dezembro de 2006). Length scales in alloy dissolution and measurement of absolute interfacial free energy. *Nature Materials*(5), 946 - 949.
- Schmitt Industries, Inc. (s.d.). White light confocal displacement sensor. Portland, Oregon, EUA.
- Silveira, G. B., Pereira, E. C., Pereira, A. G., Rocha, R. P., Figueira, M., Flnamore, D., & Salvador, A. D. (2014). Microscopia Óptica e Microscopia Confocal como Técnicas Comparativas para Caraterização de Pites em Cupons de Corrosão. *ABRACO*. Forfaleza/CE.
- Siqueira, I. N. (2013). *Desenvolvimento de Software para identificação e caracterização de pites de corrosão em cupons*. Campos dos Goytacazes - RJ: UENF - Universidade Estadual do Norte e Fluminense - Setembro/2013.
- Sokolov, D., Bailey, M. R., & Crum, L. (2001). Use of a dual-pulse lithotripter to generate a localized. *Acoustical Society of America*, 1685-1685.

- V. Barranco, E. O.-A. (2010). Characterization of roughness and pitting corrosion of surfaces modified by blasting and thermal oxidation. *Surface & Coatings Technology* 204, 3723-3793.
- Zaidan, B. B., Zaidan, A. A., Alanazi, H. O., & Alnaqeib, R. (2010). Towards Corrosion Detection System. *International Journal of Computer Science Issues*, 7(3), 33-36.