

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

KARLA MARIA JULIANO NADAL

**MÉTODO DE ARQUEAÇÃO DE TANQUES CILÍNDRICOS – ESTUDO DE
CASO DE TUBULAÇÕES UTILIZADAS EM REDES PÚBLICAS DE
SANEAMENTO**

CURITIBA

2022

KARLA MARIA JULIANO NADAL

**MÉTODO DE ARQUEAÇÃO DE TANQUES CILÍNDRICOS – ESTUDO DE
CASO DE TUBULAÇÕES UTILIZADAS EM REDES PÚBLICAS DE
SANEAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do grau de Engenheira Cartógrafa e Agrimensora.

Orientadores:

Prof. Dra. Érica Santos Matos Baluta

Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

CURITIBA

2022

TERMO DE APROVAÇÃO

KARLA MARIA JULIANO NADAL

MÉTODO DE ARQUEAÇÃO DE TANQUES CILÍNDRICOS – ESTUDO DE CASO DE TUBULAÇÕES UTILIZADAS EM REDES PÚBLICAS DE SANEAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Engenheira Cartógrafa e Agrimensora, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dra. Érica Santos Matos Baluta

Orientadora – Departamento de Geomática, UFPR

Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

Orientador – Departamento de Geomática, UFPR

Prof. Dr. Wander Da Cruz

Banca Examinadora – Departamento de Geomática, UFPR

Eng. Me. Samir de Souza Oliveira Alves

Banca Examinadora – Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 09 de maio de 2022

Dedico este trabalho aos meus pais, Carlos e Kátia, meus maiores apoiadores, incentivadores, sem eles eu nada seria. Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal, minha maior inspiração para ter um dia escolhido e me tornado Engenheira Cartógrafa e Agrimensora, e principalmente o responsável por ter me guiado para a área de Topografia Industrial, e a Perita Criminal MsC. Katia Aparecida Juliano, minha maior inspiração como Engenheira, que me ensinou a exercer a profissão. Pessoas especiais que fizeram toda a diferença para que eu obtivesse sucesso em meu trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu agradecimento eterno, porque sem Ele nada seria possível. A minha família que me apoia incondicionalmente sempre, especialmente à meus pais Carlos e Katia, ao Matheus Taurino o meu companheiro, minha irmã Laura Beatriz, minha avó Maria Nazaré, à Tia Kelly, Tia Edna e a Tia Tuka, e ainda aos meus irmãos Marco Aurélio e Mateus Augusto, agradeço a toda compreensão, o amor e o carinho.

Em memória dos meus familiares que durante essa jornada acadêmica fizeram a passagem, mas também sempre estiveram presentes em minha vida, com amor e carinho, à Vó Zélia, Tio Gordo e Tio Gege.

Aos meus amigos queridos, que sempre estiveram presentes comigo nessa caminhada, durante os anos de curso e me apoiaram no desenvolvimento desse trabalho em momentos de descontração, especialmente Tchela, Raul Gustavo, Rafael, Iago, Carlos Ka2, Tonho, Laryssa, Bruno, Zé Henrique, Olivia, Ana Paula, Amanda, Alexia, Adriel e Lincoln, pelo companheirismo, meu agradecimento.

Ao meu grande amigo de uma vida inteira Prof. Pedro Cruz Stolz Camargo, que executou a correção desse trabalho e também exerceu o cargo de melhor amigo da futura engenheira.

Aos meus amigos e colegas de curso Rafaela Stefani Favaro Maes e Minás Daniel Marcarov o agradecimento especial, primeiramente por serem meu porto seguro no curso de Engenharia e por toda a parceria, e também por serem essenciais a esse trabalho, sendo minha equipe de campo nos ensaios dos experimentos no LAIG e na SANEPAR.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga e a Prof. Dra. Érica Santos Matos Baluta, por aceitarem o convite, pelas valiosas contribuições, os ensinamentos, todo o auxílio com os ensaios, minha gratidão por terem sido meus mestres.

À minha banca examinadora, Prof. Dr. Wander Da Cruz e o Eng. Me. Samir Souza Oliveira Alves, por aceitarem o convite e pelas valiosas contribuições.

À SANEPAR e aos Funcionários da empresa que tornaram meu ensaio possível, especialmente o Eng. Mecânico Felipe Owczarzak de Mello e Silva e o Técnico Mecânico Alexandre Lisboa.

Aos Laboratórios da Universidade Federal do Paraná LAIG – Laboratório de Instrumentação Geodésica, LABTOPO – Laboratório de Topografia e GEENG - Laboratório de Geodésia Aplicada à Engenharia, meu agradecimento pelo auxílio nos ensaios com o fornecimento de instrumentos, equipamentos e espaço para os experimentos.

À Universidade Federal do Paraná, ao Setor de Ciências da Terra, ao Departamento de Geomática, ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura meu eterno agradecimento por ter tido a oportunidade de ter sido aluna na Universidade que tanto me orgulho. Imensurável.

“Se meu destino é cantar, eu canto
Meu mundo é mais que chorar, não choro
A vida é mais do que pranto, é um sonho
Com matizes sonoros”

Canto dos Livres

Cenair Maicá

Nativista Gaúcho

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metrologia Industrial.....	17
Figura 2 - Verificação de Radar Fixo	20
Figura 3 - Verificação de Balanças dinâmicas.....	21
Figura 4 - Verificação de Bombas medidoras para combustíveis líquidos	21
Figura 5 - Arqueamento de Tanques, detalhe para as plataformas de trabalho e andaimes, equipamentos previstos pela norma ISO 7507-1	26
Figura 6 - Verificação de Arqueamento de Tanques	27
Figura 7 - Tubulação DN300	37
Figura 8 - Tubulação DN1200	37
Figura 9 - Tubulação de Água DN1200.....	38
Figura 10 - Laser Scanner Leica BLK360 no Ensaio da SANEPAR.....	41
Figura 11 - Trena convencional com estojo	42
Figura 12 - Trena com suporte	43
Figura 13 - Trenas de fita e metro padrão posicionados em seu início	44
Figura 14 - Diferenças na posição 50 cm	45
Figura 15 - Diferenças na posição 50 cm	45
Figura 16 - Seção de Referência materializada com o barbante e os alvos	48
Figura 17 - Visada no alvo ponto P1 na materialização da Seção de Referência	49
Figura 18 - Nível Geodésico Leica DNA03 instalado no tripé industrial visando a Seção de Referência implantada na tubulação DN300.....	50
Figura 19 - A autora implantando a seção superior.....	52
Figura 20 - Localização dos Pontos onde foram mensuradas as espessuras .	53
Figura 21 - Discrepância e irregularidades nas espessuras na Tubulação	53
Figura 22 - Tubulação DN300 e suas seções	55
Figura 23 - Trena Métrica de PVC devidamente horizontalizada materializando um curso passando sobre uma seção.....	57
Figura 24 - Trena Métrica de PVC devidamente horizontalizada materializando um curso passando sobre uma seção.....	58
Figura 25 - Mensuração de um curso com o uso de Fita Métrica de PVC pelo Método de arqueamento	58
Figura 26 - Mensuração de um curso com o uso de Trena Métrica de Fita de PVC pelo Método de arqueamento	59
Figura 27 – Representação Gráfica da Tabela de Capacidade – Experimento 1	72
Figura 28 - Representação Gráfica da Tabela de Capacidade – Experimento 2	72
Figura 29 - Representação Gráfica da Tabela de Capacidade – Experimento 3	73
Figura 30 - Laser Scanner Instalado em uma posição fazendo varredura terrestre.....	75
Figura 31 - Laser Scanner em funcionamento	76

Figura 32 - Laser Scanner realizando a varredura interna na tubulação DN300	77
Figura 33 - Equipe posicionando o Laser Scanner para varredura interna na tubulação DN300.....	78
Figura 34 - Laser Scanner realizando varredura interna na tubulação DN300	78
Figura 35 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare	80
Figura 36 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare	81
Figura 37 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare	81
Figura 38 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare	82
Figura 39 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare	83
Figura 40 - Visão frontal da nuvem de pontos que está reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare	83
Figura 41 - Vista frontal da nuvem de pontos que está reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare	84
Figura 42 - Vista frontal da nuvem de pontos que está reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare	84
Figura 43 - A tubulação DN300 no software CloudCompare	85
Figura 44 - A tubulação DN300 no software CloudCompare	85
Figura 45 - A seção na nuvem de pontos da tubulação DN300 no software CloudCompare	86
Figura 46 - A seção da tubulação DN300 no software CloudCompare	86
Figura 47 - O cálculo do volume externo pelo software CloudCompare da tubulação DN300.....	87
Figura 48 - Tubulação de água DN1200 na sede da SANEPAR.....	90
Figura 49 - Comprimento útil da tubulação DN1200 segundo a Norma NBR 7560	91
Figura 50 - Realizando-se a medição da tubulação DN1200 na lateral com a bolsa.....	92
Figura 51 - Mensurando o comprimento total da tubulação DN1200	92
Figura 52 - Realizando o posicionamento das seções na tubulação DN1200 .	94
Figura 53 - Localização dos pontos onde mediu-se as espessuras na tubulação DN1200	95
Figura 54 - Realizando a medição da espessura na tubulação DN1200.....	95
Figura 55 - Tubulação DN1200 e as respectivas seções	97
Figura 56 - Método de Arqueamento.....	98
Figura 57 - Método de Arqueamento.....	99
Figura 58 - Leitura de uma seção no Método de Arqueamento	99
Figura 59 - Fita de arqueamento envolvendo a tubulação – Método de Arqueamento.....	100
Figura 60 - Presença de ferrugem na superfície do tanque na leitura de uma seção.....	101

Figura 61 - Representação Gráfica da Tabela de Capacidade – Calibragem de Fundo - Ensaio SANEPAR.....	107
Figura 62 - Instalações do equipamento Laser Scanner	108
Figura 63 - Laser Scanner Instalado em uma posição fazendo varredura terrestre.....	109
Figura 64 - Laser Scanner Instalado em uma posição fazendo varredura terrestre.....	109
Figura 65 - Laser Scanner Instalado em uma posição internamente à tubulação, fazendo varredura terrestre	110
Figura 66 - Laser Scanner Instalado em uma posição internamente à tubulação, fazendo varredura terrestre	110
Figura 67 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare	112
Figura 68 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare	113
Figura 69 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare	113
Figura 70 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare	114
Figura 71 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare	114
Figura 72 - Distância entre dois pontos na tubulação DN1200 na nuvem de pontos no software	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tolerâncias.....	34
Tabela 02 - Seções na Tubulação DN300	51
Tabela 03 - Espessura da Tubulação DN300.....	52
Tabela 04 - Ensaio LAIG - Primeira Medição	56
Tabela 05 - Ensaio LAIG - Segunda Medição	56
Tabela 06 - Ensaio LAIG - Terceira Medição	56
Tabela 07 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 1.....	61
Tabela 08 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 2.....	61
Tabela 09 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 3.....	61
Tabela 10 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 4.....	62
Tabela 11 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 5.....	62
Tabela 12 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 6.....	62
Tabela 13 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 7.....	63
Tabela 14 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 8.....	63
Tabela 15 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 1.....	64
Tabela 16 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 2.....	64
Tabela 17 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 3.....	64
Tabela 18 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 4.....	65
Tabela 19 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 5.....	65
Tabela 20 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 6.....	65
Tabela 21 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 7.....	66
Tabela 22 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 8.....	66
Tabela 23 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 1.....	67
Tabela 24 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 2.....	67
Tabela 25 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 3.....	67
Tabela 26 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 4.....	68
Tabela 27 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 5.....	68
Tabela 28 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 6.....	68
Tabela 29 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 7.....	69
Tabela 30 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 8.....	69
Tabela 31 - Volume Externo – Ensaio do LAIG.....	70
Tabela 32 - Volume Interno – Ensaio do LAIG.....	70
Tabela 33 - Diferenças de volumes – Percentual – Ensaio do LAIG.....	70
Tabela 34 - Tabela de Capacidade do Tanque Interno ou Calibragem de Fundo – Ensaio LAIG	71
Tabela 35 - Erros nos Links - Ensaio no LAIG	79
Tabela 36 - Método de Arqueamento - Resultados - Ensaio LAIG.....	88
Tabela 37 - Comprimento total da Tubulação DN1200	91
Tabela 38 - Seções na Tubulação DN1200	93
Tabela 39 - Espessuras Tubulação DN1200.....	94
Tabela 40 - Ensaio SANEPAR - Medições.....	97
Tabela 41 - Seções e Raspagem.....	100
Tabela 42 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 1.....	102

Tabela 43 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 2.....	103
Tabela 44 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 3.....	103
Tabela 45 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 4.....	103
Tabela 46 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 5.....	104
Tabela 47 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 6.....	104
Tabela 48 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 7.....	104
Tabela 49 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 8.....	105
Tabela 50 - Tabela de Capacidade do Tanque Interno ou Calibragem de Fundo - Ensaio SANEPAR	106
Tabela 51 - Erros nos links - Ensaio SANEPAR.....	111
Tabela 52 - Cálculo do Volume com dados Laser Scanner - Ensaio SANEPAR	115
Tabela 53 - Resultados obtidos pelo Ensaio na SANEPAR	116

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS.....	13
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	13
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. TOPOGRAFIA INDUSTRIAL	14
2.2. METROLOGIA INDUSTRIAL, METROLOGIA LEGAL E O INMETRO	15
2.3. PRINCÍPIOS DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO APLICÁVEIS À METROLOGIA	22
2.4. MÉTODO DE ARQUEAMENTO	24
2.5. NORMA TÉCNICA ISO 7507-1 - 1993	27
2.5.1. PRECAUÇÕES GERAIS.....	28
2.5.2. PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA.....	29
2.5.3. EQUIPAMENTOS.....	29
2.5.4. EXIGÊNCIAS GERAIS	30
2.5.5. METODOLOGIA DE ARQUEAÇÃO DE TANQUES	32
2.5.5.1. MEDIÇÕES DE CIRCUNFERÊNCIA.....	32
2.5.5.2. AFERIÇÃO DE NÍVEL PARA PROPÓSITOS DE APURAÇÃO	32
2.5.5.3. AFERIÇÃO DE NÍVEL PARA PROPÓSITOS DE TRABALHO	33
2.5.5.4. AFERIÇÃO DE NÍVEL PARA PROPÓSITOS DE REFERÊNCIA	33
2.5.5.5. RECOMENDAÇÃO	33
2.5.6. PROCEDIMENTO DE ARQUEAMENTO	33
2.5.7. REPETIÇÃO DE MEDIÇÃO	34
2.5.8. TOLERÂNCIA.....	34
3. MATERIAIS.....	35
3.1. TUBULAÇÃO DN300 E DN1200.....	36
3.2. LEVANTAMENTO VOLUMÉTRICO COM LASER SCANNER.....	38
3.3. TRENA MÉTRICA PARA O MÉTODO DE ARQUEAMENTO.....	41
4. ENSAIO NO LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA – LAIG.....	46
4.1. EXPERIMENTO INICIAL NO LAIG	47
4.1.1. LOCAÇÃO DA SEÇÃO DE REFERÊNCIA	47
4.1.2. LOCAÇÃO DOS ALVOS PARA MATERIALIZAÇÃO DAS SEÇÕES NA TUBULAÇÃO DN300.....	51
4.1.3. MEDIÇÃO DA ESPESSURA DA TUBULAÇÃO DN300	52
4.2. MÉTODO DE ARQUEAMENTO – LAIG	54
4.3. RESULTADOS DO MÉTODO DE ARQUEAMENTO NO LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA – LAIG	60
4.4. DIFERENÇAS OBSERVADAS NOS EXPERIMENTOS NO LAIG.....	70
4.5. TABELA DE CAPACIDADES DO TANQUE INTERNO OU CALIBRAGEM DE FUNDO NO ENSAIO NO LAIG	71
4.6. MÉTODO VOLUMÉTRICO UTILIZANDO O LASER SCANNER NO LAIG	74
4.6.1. RESULTADOS PARA O LEVANTAMENTO LASER SCANNER EXTERNO NO SOFTWARE CYCLONE REGISTER 360.....	79
4.6.2. RESULTADOS PARA O LEVANTAMENTO LASER SCANNER EXTERNO NO SOFTWARE CLOUDCOMPARE.....	80
4.7. ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS PELAS METODOLOGIAS EMPREGADAS NOS EXPERIMENTOS NO LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA	88

5. ENSAIO NA SANEPAR	89
5.1. MENSURAÇÕES INICIAIS	90
5.1.1. <i>COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DN1200</i>	90
5.1.2. <i>REFERENCIAMENTO DAS SEÇÕES</i>	93
5.1.3. <i>MEDIDA DA ESPESSURA DA TUBULAÇÃO DN1200</i>	94
5.2. MÉTODO DE ARQUEAMENTO – SANEPAR	96
5.3. RESULTADOS DO MÉTODO DE ARQUEAMENTO NA SANEPAR.....	101
5.4. TABELA DE CAPACIDADES DO TANQUE INTERNO OU CALIBRAGEM DE FUNDO 106	
5.5. MÉTODO VOLUMÉTRICO UTILIZANDO O LASER SCANNER.....	107
5.5.1. <i>RESULTADOS PARA O LEVANTAMENTO LASER SCANNER EXTERNO E INTERNO À TUBULAÇÃO DN1200 NO SOFTWARE CYCLONE REGISTER 360</i>	111
5.5.2. <i>RESULTADOS PARA O LEVANTAMENTO LASER SCANNER NO SOFTWARE CLOUDCOMPARE</i>	112
5.6. ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS PELAS METODOLOGIAS EMPREGADAS NOS EXPERIMENTOS NO ENSAIO NA SANEPAR	116
6. CONCLUSÃO	117
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

1. INTRODUÇÃO

A ciência da medição, como é conhecida a Metrologia, é o campo de estudo central desse trabalho, junto à Topografia de Precisão voltada à ambientes Industriais, e dentro desses conceitos o Método de Arqueamento, segundo a Norma Internacional ISO 7507 – 1 – 1993 (*Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method*) para Calibragem de Tanques Cilindricos Verticais é abordado através de dois ensaios, sobre dois modelos cilíndricos aproximados, definidos por tubulações de água descritos por normas vigentes segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) – NBR (Norma Brasileira).

O primeiro ensaio estuda uma tubulação em posição vertical, e aconteceu em Laboratório nas dependências da Universidade Federal do Paraná, no Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG, e trata-se de ambiente confinado e controlado. O segundo ensaio ocorreu ao ar livre na sede de uma empresa paranaense de rede de distribuição de água pública, a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), e estudou uma tubulação apoiada em posição horizontal. Ambos os ensaios figuram metodologias do Método de Arqueamento de seções segundo a Norma ISO 7507- 1- 1993 adaptados para os objetos de estudo e os ambientes em que foram executados.

De acordo com Dos Santos, De Rezende E Lazari (2004) O Método de Arqueamento de seções é um conjunto de operações que visa determinar a capacidade volumétrica de um tanque ou reservatório até um ou vários níveis de enchimento, e além deste método, foi desenvolvido nesse trabalho um método alternativo de obtenção de dados para o cálculo de volume e modelagem das tubulações estudadas. Foi realizado o levantamento através de varredura laser empregando-se um Laser Scanner Terrestre (LST) dos objetos de estudo, e através dos resultados desse levantamento, o cálculo do volume também foi obtido.

Foram apresentados conceitos fundamentais de Topografia Industrial, Metrologia Industrial, Metrologia Legal, e conceitos de medição, recomendação, condições para realização e procedimentos gerais do método de arqueamento, teoricamente e na prática demonstrados em dois ensaios segundo a Norma ISO

7507 – 1 – 1993 e, ainda, segundo a Norma NBR14787 - Espaço confinado - Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção (2001).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Propor a aplicação de uma metodologia para verificação de capacidade volumétrica de tanques armazenadores de líquidos ou graneis (arqueação) com base na Norma do INMETRO NIE-DIMEL-021 Procedimentos gerais para arqueação de tanques, a qual baseia-se na Norma Técnica ISO 7507-1 1993 (*Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method*) adaptada para tubulações empregadas em obras de saneamento.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Apresentar a fundamentação teórica sobre os assuntos inerentes à compreensão do projeto.

Efetuar a arqueação de um tanque em laboratório, utilizando um produto industrial com controle de qualidade. No caso, tubulação de PVC.

Realizar ensaios em campo para avaliar a metodologia proposta, com a utilização de uma tubulação de ferro fundido, utilizado para distribuição de água.

Apresentar considerações e recomendações sobre as aplicações efetuadas nos experimentos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. TOPOGRAFIA INDUSTRIAL

De acordo com Veiga, Zanetti e Faggion (2012), etimologicamente a palavra *topos*, em grego, significa lugar e *graphen* descrição. Assim, de maneira simples, Topografia significa “descrição do lugar”. Topografia é uma parte da Geodésia, ciência que tem por objetivo determinar a forma e as dimensões da Terra.

A Topografia por Espartel (1982, p. 3) “Tem por finalidade determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a curvatura resultante da esfericidade terrestre”.

Ainda conforme Veiga, Zanetti e Faggion (2012), o objetivo principal da topografia é executar medições de ângulos, distâncias e desníveis, para representar dessa forma uma porção da superfície terrestre apenas. As operações efetuadas em campo, com o objetivo de coletar dados, para posterior representação dessa superfície, denomina-se levantamento topográfico. A partir das medidas lineares e angulares realizadas sobre a superfície da Terra calculam-se coordenadas, áreas, volumes, etc. E ainda poderão ser representadas de forma gráfica através de mapas e plantas.

Além disso, como afirmam Veiga, Zanetti e Faggion (2012), a topografia é dividida em Topometria e Topologia, sendo a Topologia o estudo das formas exteriores de um terreno e das leis que regem o seu modelado. Já a Topometria é o estudo dos processos clássicos de medição de distancias, ângulos e desníveis, que visa a determinação de posições relativas de pontos e é dividida em: planimetria e altimetria.

O levantamento topográfico pode ser dividido em:

- Levantamento Planimétrico (coordenadas X e Y);
- Levantamento Altimétrico (coordenada Z);
- Levantamento Planialtimétrico (X, Y e Z).

São utilizados diferentes métodos, técnicas e instrumentos na Topografia para cada aplicação. A precisão e a acurácia exigida em cada aplicação

distingue-se também, cada levantamento tem características bastante distintas, e tudo depende dos resultados exigidos pelos trabalhos.

A partir desse conceito, podemos definir, para o uso em estudos de Engenharia de precisão, o termo “Topografia Industrial” ou “Topografia de Precisão” para todas as partes da Topografia que se referem à ambientes industriais, como citado em NADAL (2000).

Topografia aplicada a trabalhos com finalidades produtiva industrial, controle de qualidade de produtos, controle de estabilidade de máquinas, equipamentos e instalações industriais, posicionamento, locações de alta precisão, determinação de deslocamentos, etc. (NADAL, 2000, p.35)

Esta uma parte da topografia que está sujeita a particularidades específicas, onde empregam-se os mesmos procedimentos, métodos e técnicas. Porém, por ser efetuada no ambiente industrial, que é restrito e confinado, está sujeita à vibrações, emissão de calor, deslocamentos aleatórios e outros efeitos, tornando-se assim, objeto de estudo da Metrologia Industrial.

2.2. METROLOGIA INDUSTRIAL, METROLOGIA LEGAL E O INMETRO

Metrologia é a “ciência da medição” (VIM, 1995) e tudo que se relaciona nos aspectos teóricos e práticos relativos às medições, em qualquer incerteza, em todos os campos da ciência ou tecnologia são de domínio da metrologia.

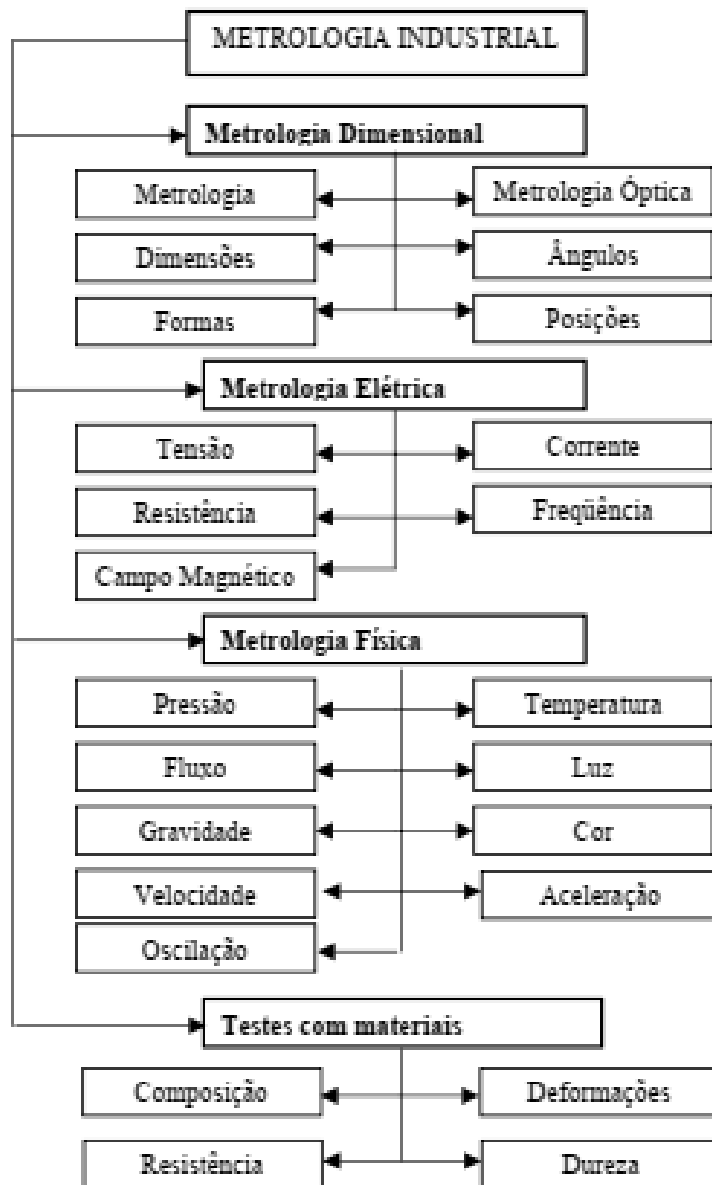
Segundo Pauli e Uliana (1996, p.5), “A metrologia aplica-se a todas as grandezas determinadas e, em particular, às dimensões lineares e angulares das peças mecânicas. Nenhum processo de usinagem permite que se obtenha rigorosamente uma dimensão prefixada.” Então, o conhecimento da grandeza do erro tolerável, antes de se escolherem os meios de fabricação e de controle de peças, é conveniente. O estabelecimento da normalização e fixação de condições para cálculos ou projetos, para padronização e uniformização de produtos industriais para finalidade de controle, que não tem apenas a função de reter ou rejeitar os produtos fabricados fora das normas, mas destina-se a orientar a fabricação dos mesmos, assim evitando erros.

As categorias de Metrologia são: Científica, Industrial e a Legal. No presente trabalho, estudaremos a Industrial e a Legal.

Segundo Nadal (2000, p. 33), “Denomina-se Metrologia Industrial o conjunto de técnicas da área de metrologia, aplicando às medições de características físicas e dimensionais dos materiais e produtos.” Em países industrializados, a Metrologia Industrial torna-se extremamente relevante, pois representa a redução de despesas na fabricação de produtos, despesas gerais e acréscimos na produtividade. Um controle eficaz, não somente das peças fabricadas, mas dos instrumentos e aparelhos verificadores, além de ferramentas, acessórios e máquinas-ferramentas utilizadas nas indústrias, torna o processo controlado e com qualidade industrial. O funcionamento adequado dos instrumentos de medição usados na indústria, tanto na produção, como nos ensaios, depende desse processo.

Ainda segundo Nadal (2000), a Metrologia Industrial pode ser dividida em: Dimensional, Elétrica, Física e De materiais (Figura 1). Na Metrologia Dimensional, aplicam-se, analisam-se e tratam-se medidas de distâncias, ângulos, áreas, volumes, superfícies e o posicionamento tridimensional, utilizando-se ainda de aplicações métricas da Mecânica e da Óptica. A Metrologia Elétrica é feita a partir de medidas de corrente elétrica, de tensão, de resistência, de frequência e de campo magnético. A Metrologia Física utiliza as medições de pressão, temperatura, fluxos, luz, gravidade, cor, velocidade, aceleração e oscilação. E a Metrologia de Materiais são basicamente de dureza, resistência e composição química. Todas as medições de uma área, são interdependentes, com os resultados de outras áreas.

Figura 1 - Metrologia Industrial



Fonte: Nadal (2000).

A Metrologia Legal, pode-se dizer que aborda a exatidão em medições onde há a influência desses valores em fatores relacionados à economia, saúde, segurança e ao meio ambiente. Segundo RECHÉ (2008) a definição internacional é “Parte da metrologia relacionada às atividades resultados de exigências obrigatórias, referentes às medições, unidades de medida, instrumentos de medição e métodos de medição, e que são desenvolvidas por organismos competentes.” Através dessa modalidade de metrologia, o Estado

intervém em operações de medição e calibragem. O papel do Estado na Metrologia Legal é extremamente relevante, visto que este estabelece legislação metrológica, que é a base legal, além de prover a infraestrutura necessária para a rastreabilidade das medições e dos instrumentos de medição regulamentados. O Estado também supervisiona os produtos e atividades regulamentadas, controla e avalia a conformidade de produtos e atividades regulamentadas.

De acordo com Réche (2008), A ciência da medição é regida por normas internacionais e nacionais. O Sistema global de medição começou sendo formado pelo CGPM – Conferência Geral de Pesos e Medidas e pela OIML – Organização Internacional de Metrologia Legal. A história metrológica segue-se com a consolidação dos estados e o desenvolvimento do comércio, tornando necessária a uniformização dos padrões de mensuração utilizados e a definição de um sistema de unidades internacional e que contivesse múltiplos e submúltiplos da unidade tomada como padrão, devido a intensa troca comercial que era procedida. Logo, iniciou-se a uniformização de pesos e medidas nos séculos XVII e XVIII. As datas internacionais historicamente relevantes são em 1795, quando o Sistema métrico foi aprovado na França e, em seguida, adotado pelos demais países; 1875 quando a convenção do Metro foi assinada por 17 países e consagrou o Sistema métrico decimal; e 1960, quando o Sistema Internacional de Unidades, o SI, versão atualizada do Sistema métrico foi adotado, sendo atualizado nas décadas seguintes, adequando-se à evolução tecnológica. A estrutura Metrológica Mundial segue sendo formada pela CGPM, OIML e atualmente também pelo CIPM – Comitê Internacional de Pesos e Medidas, BIPM – Bureau Internacional de Pesos e Medidas, e pelos Institutos Nacionais de Metrologia.

Conforme Dias (1998), no Brasil, os marcos mais relevantes para a normalização de medidas foram a criação das organizações governamentais, como o Instituto Nacional de Pesos e Medidas de 1961, destinado a cumprir todas as atribuições metrológicas, com a finalidade de promover a legislação metrológica brasileira, e em seguida a criação dos órgãos metrológicos estaduais. A implantação do INMETRO em 1980 em Xerém - RJ, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, para as atividades de metrologia legal, normas e certificações de qualidade, também é um marco

relevante e ainda a criação no mesmo ano da Rede Nacional de Calibração – RNC, de acordo com padrões nacionais metrológicos.

A resolução nº 8/80 que criou a RNC formada por laboratórios credenciados ao INMETRO, definiria como oficialmente calibrados apenas os instrumentos e padrões processados por esses laboratórios orientados por normas internacionais, para calibração de padrões e instrumentos de medir, fora de atividades comerciais, utilizados em metrologia legal. Tudo de acordo com os padrões metrológicos nacionais. Ainda, o INMETRO era autorizado a assegurar a rastreabilidade desses instrumentos e padrões usados em ensaios realizados pelas instituições do sistema de certificação de qualidade industrial.

Atualmente, segundo informações do próprio INMETRO, este é o órgão nacional responsável por executar as políticas nacionais de metrologia e de qualidade, verificar e fiscalizar a observância de normas técnicas, no que se refere à unidades de medida, métodos de medição, medidas materializadas, instrumentos de medição e produtos pré-medidos. O INMETRO também é responsável por manter e conservar padrões de unidades de medida, fortalecer a participação do país em atividades internacionais de metrologia, prestar suporte técnico e administrativo ao Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade – Conmetro, planejar executar atividades de acreditação de laboratórios de calibração e ensaios de provedores de ensaios de proficiência, de Organismos de Avaliação da Conformidade, e outros. Além disso ainda coordena o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro) a atividade de Avaliação da Conformidade, voluntária e compulsória de produtos, serviços, processos e pessoas. O INMETRO também desenvolve atividades de prestação de serviços e transferência de tecnologia e cooperação técnica, quando voltadas à inovação e à pesquisa científica e tecnológica em Metrologia e Avaliação da Conformidade. A lei nº9933/1999 dá as competências do INMETRO.

É importante também destacar o papel da DIMEL – Diretoria de Metrologia Legal no Brasil. Ela organiza e executa as atividades metrológicas legais no país, sendo essas a elaboração de regulamentos técnicos metrológicos, o controle metrológico legal dos instrumentos, participação em fóruns internacionais, e controle de produtos pré-medidos.

A legislação metrológica em vigor no Brasil seria: Na Constituição Federal as Leis: Lei 5.966/1973, Lei 9933/1999, Lei 10.829/2003. As Resoluções Conmetro: 11/1988, 12/1988, 13/2006, 03/2007 e 04/2007. E as legislações afim (Aneel, Anp, Denatran, SRF...). Também é importante destacar as portarias do INMETRO e as normas DIMEL de procedimentos.

No Paraná o Instituto de Pesos e Medidas do Estado do Paraná é responsável pelas atividades de medição e verificação metrológica do estado, como por exemplo Radares fixos e móveis (Figura 02), barreira eletrônica, verificação de hidrômetros em bancada, verificação de caminhões e vagões tanque, verificações de medidas de grandes volumes, verificação de balanças dinâmicas (figura 03) e balanças comerciais, ajuste e calibração de massas padrão, verificação de bombas medidoras para combustíveis líquidos (Figura 04), verificação de metros comerciais, verificação de taxímetro, entre outros. São principalmente responsáveis pela arqueação de tanques, os quais são objeto de estudo do presente trabalho.

Figura 2 - Verificação de Radar Fixo



Fonte: IPEM – PR (2008).

Figura 3 - Verificação de Balanças dinâmicas



Fonte: IPEM – PR (2008).

Figura 4 - Verificação de Bombas medidoras para combustíveis líquidos



Fonte: IPEM – PR (2008)

2.3. PRINCÍPIOS DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO APLICÁVEIS À METROLOGIA

Primeiramente, definimos o que é Medição, o que é, segundo VIM (1995), “O conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza”. Partindo desse princípio básico da ciência da medição, vamos analisar alguns itens associados, todos segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM:

a) Valor de uma grandeza:

Expressão quantitativa de uma grandeza específica, geralmente sob a forma de uma unidade de medida multiplicada por um número.

b) Incerteza de medição:

Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando.

c) Valor verdadeiro convencional:

Valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes por convenção, como tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade.

d) Medida Materializada:

Dispositivo destinado a reproduzir ou fornecer, de maneira permanente durante seu uso, um ou mais valores conhecidos de uma dada grandeza.

e) Padrão:

Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.

f) Instrumento de Medição:

Dispositivo utilizado para uma medição, sozinho ou em conjunto com dispositivo(s) complementar(es).

g) Rastreabilidade:

Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado à referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

Dessa forma, definimos três outros termos essenciais para o nosso trabalho: Calibração, e por consequência, Verificação e Ajuste, com base no VIM (1995).

a) Calibração:

Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

b) Ajuste:

Operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com o seu uso.

c) Verificação:

Procedimento que compreende o exame, a marcação e/ou a emissão de um certificado de verificação e que constata e confirma que o instrumento de medição satisfaz às exigências regulamentares.

Segundo o VIM e Alves (2008), também há o conceito de garantia metrológica, que é um conjunto de regulamentos e meios técnicos, com operações necessárias, utilizados para garantir credibilidade dos resultados da medição em metrologia legal. O conjunto de atividades que visam a garantia metrológica são: O controle legal dos instrumentos de medição, a supervisão metrológica, e a perícia metrológica.

Destes conceitos apresentados pelo VIM, o mais importante é o de Calibração, sendo ela uma comparação que serve como critério de seleção e padrão de confiabilidade. Da calibração vem a necessidade do ajuste, que é definida pelo usuário. A especificação técnica de um instrumental não garante

seu desempenho, e, portanto, devem ser submetidos ao controle metrológico. Assim como os produtos, não se pode confiar sem testá-los metrologicamente. Dai vem o sentido de medir para conhecer.

De acordo com Alves (2008) o Parâmetro é um valor que caracteriza a dispersão de dados. Segundo o VIM o “Parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando”. Nessa lógica, o resultado de uma medição é o resultado \pm Incerteza de Medição. E a incerteza é uma indicação quantitativa da qualidade do resultado de uma medição. Nessas condições também definimos o Erro, que é o resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando, e expressa a ideia de exatidão. A correção é quando ‘retiramos o erro’, e pode ser feita pelo ajuste. Correção segundo o VIM é “Valor adicionado algebricamente ao resultado não corrigido de uma medição para compensar um erro sistemático. “. A incerteza de uma medição não pode ser corrigida, por ser a ideia de dispersão, mas pode ser minimizada, pois deve ser conhecida. Uma importante ferramenta utilizada pela metrologia para a minimização das incertezas é a estatística.

2.4. MÉTODO DE ARQUEAMENTO

Referente à Norma Internacional ISO 7507 tratada no presente trabalho, a parte 1 refere-se ao Método de Arqueamento para a calibragem dos tanques cilíndricos verticais. É um método reconhecido para determinar-se a capacidade dos tanques de armazenagem a partir de medições da circunferência de um tanque em diversas alturas, além de também ser utilizado para determinar uma circunferência de referência em determinada altura selecionada para ser utilizada como referência em outros métodos de calibragem de tanque.

No conceito básico, Arqueação segundo Dos Santos, De Rezende e Lazari (2004, p.5) é “Conjunto de operações, efetuadas com vistas a determinar a capacidade de um tanque ou reservatório até um ou vários níveis de enchimento.” A partir disso, podemos começar a discutir definições da norma,

precauções, equipamentos, exigências, medição da circunferência, o procedimento do arqueamento, a repetição da medição, a definição de tanque e outros aspectos relevantes. As atividades em campo são desenvolvidas visando atender refinarias, bases, terminais, indústrias petroquímicas e indústrias alimentícias, também podendo ser efetuadas em embarcações.

O Tanque, nosso objeto de estudo, é o reservatório destinado a armazenar produtos à granel. Diferentes modelos possíveis de tanques são:

- Tanque de embarcação: Tanque localizado em uma embarcação destinado ao transporte e/ou comercialização de produtos à granel.
- Tanque cilíndrico vertical: Tanque cilíndrico de eixo vertical com fundo plano, cônico, tronco-cônico, semiesférico ou de meridiano elíptico.
- Tanque cilíndrico horizontal: Tanque cilíndrico de eixo horizontal, com ou sem inclinação, com as extremidades fechadas por calotas ou seção plana.
- Tanque esférico ou esferoidal: Reservatório de forma esférica.
- Tanque paralelepípedo: Reservatório de forma paralelepípedica.
- Tanque especial: Reservatório sem forma geométrica definida.

A tabela volumétrica é definida conforme Dos Santos, De Rezende e Lazari (2004) como expressão, sob forma de escala, da função matemática $v(h)$ que representa a relação entre a altura h (variável independente) e o volume v (variável dependente).

Outro importante item a ser definido é o certificado de arqueação, que é o documento de caráter oficial que acompanha a tabela volumétrica, certificando que a arqueação de um tanque/reservatório foi procedida, visando atender exigências legais.

Em relação às condições para realizar-se o método de arqueamento (Figura 05), temos também a NORMA NBR 14787 - Espaço confinado – Prevenção

de acidentes, procedimentos e medidas de proteção (2001), que define o estado dos tanques e o espaço que será submetido ao método.

O tanque deve estar vazio, limpo e desgaseificado O ambiente em que está inserido deve seguir os rígidos procedimentos sugeridos de acordo com a norma NBR 14787 e ainda, o tanque deve ter sido devidamente testado quanto à sua estanqueidade para permitir o método de arqueamento (Figura 06).

Figura 5 - Arqueamento de Tanques, detalhe para as plataformas de trabalho e andaimes, equipamentos previstos pela norma ISO 7507-1



Fonte: Réche - INMETRO (2008)

Figura 6 - Verificação de Arqueamento de Tanques



Fonte: IPEM -PR (2008)

2.5. NORMA TÉCNICA ISO 7507-1 - 1993

Esta é uma Norma técnica ISO que se refere ao método de arqueamento de Tanques Cilíndricos Verticais de Petróleo, para controle metrológico no segmento de Petróleo e Gás, e é norma central de estudo do presente trabalho. Ela é utilizada para a calibração e metrologia de tanques, tanto como os utilizados em refinarias da Petrobras, como nos presentes na REPAR, localizada no município de Araucária - PR, que podem ser dimensionados por essa norma. A partir das técnicas descritas nessa norma, foi adaptada uma metodologia para dois ensaios topográficos industriais, aplicando-se à norma técnica modificada de forma que pudéssemos obter resultados satisfatórios.

A Norma ISO-7507, para desenvolvimento e implementação de procedimentos e regulamentos técnicos, onde o público alvo segundo LAZARI (2008) são “operadoras, transportadoras, concessionárias, distribuidoras de Petróleo e Gás; Inmetro e demais órgãos delegados da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade (RBMLQ-I) e os laboratórios acreditados da Rede Brasileira de Laboratórios de Calibração (RBC).”

A parte da Norma Técnica ISO 7507-1 1993 (*Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method*) de maior interesse para o presente trabalho é apresentada a seguir.

2.5.1. PRECAUÇÕES GERAIS

A Norma Técnica ISO 7507-1 1993 (*Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method*) especifica que deve-se atentar ao máximo de detalhes na hora de se efetuar a calibração de tanques de armazenagem. Para tanto, as seguintes precauções devem ser atendidas:

Todas as medições devem ser observadas e registradas como lidas. As correções necessárias devem ser registradas separadamente. Eventuais anormalidades que possam ocorrer durante as operações devem ser documentadas e a calibragem deve ser repetida caso necessário.

Se houverem deformações no tanque, medições adicionais devem ser efetuadas para permitir um cálculo satisfatório da tabela de capacidade.

Para leituras precisas e com repetição, há a necessidade de remoção de bolhas de tinta, incrustações e outras imperfeições que podem interferir com as medições ou com a posição que o equipamento de medição deve ser ajustado.

Se houver disponível o projeto original do tanque, suas medições devem ser comparadas às medidas mais relevantes correspondentes. Qualquer medição que demonstre discrepância nesta comparação deve ser relatada.

Caso a calibragem de um tanque seja interrompida, ela poderá ser continuada numa data posterior, contanto que siga as normas especificadas (Ver 4.2.6).

2.5.2. PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA

Nesta etapa da Norma Técnica ISO 7507-1 1993 (*Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method*), definem-se as precauções adequadas para quando o tanque estiver sendo calibrado, garantindo a segurança do operador na hora das mensurações.

Todos os regulamentos que cobrem a entrada em áreas perigosas devem ser rigorosamente observados. Quando um tanque que contiver produto de petróleo estiver sendo calibrado, deve-se atentar às precauções de segurança que se aplicam a tais tanques.

Para entrar num tanque que já esteve em uso, deve-se obter um certificado de entrada segura, emitido em conformidade com os regulamentos locais ou nacionais. Todas as tubulações que entram no tanque devem ser desconectadas ou lacradas. Os regulamentos sobre entradas em tanques que contenham combustíveis ou chumbo devem ser observados com cautela.

As luzes manuais utilizadas na operação devem ser do tipo adequado para uso em atmosfera explosiva.

A segurança do pessoal operacional deve ser observada com atenção rigorosa. Escadas, berços de pintores, cadeiras de trabalho, andaimes feitos de estruturas de aço ou madeira, não se devendo construir estruturas de tijolos, tambores ou caixas para formar plataformas. É preciso observar que, quem estiver trabalhando acima do solo deve estar utilizando cinto de segurança.

2.5.3. EQUIPAMENTOS

Para a realização do método de arqueamento os seguintes equipamentos são necessários:

- Fita de Arqueamento, segundo as recomendações: De aço de carbono duro ou de outro material, calibrada, uma peça contínua com graduação em apenas uma face e engraxada antes do uso;
- Balança com mola (Dinamômetro);
- Plataforma de Trabalho, de madeira ou metal, de construção rígida;

- Posicionadores e cordas de fita;
- Empunhadura Littlejohn, para segurar a fita, sem dobrar, para a aplicação de tensão necessária na fita de aferição. Este é um dispositivo usado para afixar um punho tensionador em posições intermediárias numa fita;
- Aparelho para medir espessura, sendo este uma régua de aço com tamanho conveniente, algum outro instrumento como um medidor eletrônico de espessura, ou até um paquímetro, para medir a espessura da chapa do tanque;
- Medidor de espessura de tinta, sendo este um parafuso micrométrico de profundidade;
- Fita de mergulho e contrapeso de mergulho. A fita de mergulho deve ser fabricada com aço de carbono duro e deve ter sido calibrada. Deve ter comprimento suficiente para ir desde o ponto de referência de mergulho do teto do tanque até o ponto de mergulho no fundo do tanque. O contrapeso de mergulho deve ser feito de latão ou outro material que não produza faíscas e possua densidade similar. Deve ser usado em conjunto com a fita;
- Régua inteira, com 1 metro de comprimento, com graduações em cm e mm, deve ser fornecida para medir espaços mortos, etc;
- Escadas, plataformas de trabalho e andaimes;
- Aparelho para medir densidade e temperatura. Aparelhos descritos conforme a ISO 3675, Densímetro medidor de condições ambientais (temperatura, umidade e pressão atmosférica).

2.5.4. EXIGÊNCIAS GERAIS

Exigências segundo a Norma Técnica ISO 7507-1 1993 (*Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method*) devem ser cumpridas. As medições devem ser comparadas as dimensões correspondentes em projetos de tanques pré-existent, de sua construção. A cilindridade do tanque deve ser verificada também.

- Antes da calibragem, o tanque deve ser enchido até a capacidade normal de trabalho, pelo menos uma vez e deixado em repouso por pelo menos 24hs até a calibragem;
- Se o tanque for calibrado com líquido dentro, deve-se registrar a profundidade, temperatura e densidade do líquido na hora da calibragem. Não devem ser efetuadas transferências de líquidos na hora da calibragem;
- Atentar-se para todas as exigências da norma com relação as mensurações de temperatura na hora da calibragem do tanque. A temperatura ambiente deve ser medida antes e depois da calibragem;
- Se o tanque for calibrado com líquido dentro, se a temperatura da superfície da parede for maior que 10°C entre a parte vazia e a parte cheia do tanque, o tanque deve estar completamente cheio ou vazio;
- Há um número de medições externas de circunferência, adicionado as medições subsidiárias necessárias e convenientes para corrigir os desvios da fita devido a obstruções. Estas devem ser seguidas conforme descrito na norma para permitir que uma tabela de capacidades seja criada. Caso sejam necessárias, medições adicionais exigidas e os procedimentos para obtê-las também são descritos pela norma;
- Todos os mergulhos de tanque devem ser referidos ao ponto de mergulho, que podem ser numa posição diferente do ponto de referência. Deve-se verificar se a placa de mergulho está montada numa posição estável, de forma que não seja afetada pelo movimento do fundo do tanque ou das paredes. Devem ser determinadas e registradas diferenças entre o nível do ponto de mergulho e o ponto de referência, se houver;
- Deve ser mensurada e registrada a altura total do ponto de referência superior acima do ponto de mergulho usando a fita de mergulho e o peso, nas condições vazio e cheio.

2.5.5. METODOLOGIA DE ARQUEAÇÃO DE TANQUES

2.5.5.1. MEDIÇÕES DE CIRCUNFERÊNCIA

Há três formas de se obter a mensuração da circunferência de um tanque. Primeiramente, para propósitos de apuração, obtém-se com três aferições por curso; secundamente, se a calibragem for para o método de trabalho, obtém-se com duas aferições por curso; e finalmente, se a calibragem for para propósito de referência, obtém-se a circunferência em somente um nível. Segundo a Norma ISO 7507-1:1993 deve-se proceder:

2.5.5.2. AFERIÇÃO DE NÍVEL PARA PROPÓSITOS DE APURAÇÃO

Para efetuar a aferição de nível para propósitos de apuração, deve-se mensurar a circunferência do tanque com três aferições por curso, nos níveis:

a) Para Tanques Arrebitados:

- 1) 100 mm a 150 mm acima do nível do topo do ângulo inferior do tanque, e 100 mm a 150 mm acima da borda superior de cada sobreposição horizontal entre os cursos;
- 2) Na posição central de cada curso;
- 3) 100 mm a 150 mm abaixo da borda inferior de cada sobreposição horizontal entre os cursos e 100 mm a 150 mm abaixo do nível da parte mais baixa do ângulo superior do tanque;

b) Para Tanques Soldados:

Três níveis como acima, mas os níveis superiores e inferiores devem estar a 270 mm e 300 mm do ângulo inferior, ângulo superior ou costuras horizontais.

2.5.5.3. AFERIÇÃO DE NÍVEL PARA PROPÓSITOS DE TRABALHO

Para efetuar a aferição de nível para propósitos de trabalho deve-se mensurar a circunferência do tanque com duas aferições por curso, efetuando uma em cada um dos níveis: 1/5 a 1/4 acima da costura horizontal inferior e 1/5 a 1/4 abaixo da costura horizontal superior.

2.5.5.4. AFERIÇÃO DE NÍVEL PARA PROPÓSITOS DE REFERÊNCIA

Nesse caso, deve-se medir a circunferência em somente um nível, como é especificado no método de calibragem do tanque, para o qual se exige apenas uma circunferência de referência.

2.5.5.5. RECOMENDAÇÃO

Caso não seja possível, mesmo com o uso de uma plataforma de trabalho, efetuar um arqueamento em um nível normal e recomendado, o arqueamento deve ser levado o mais próximo possível deste nível, mas não próximo ao ângulo do fundo, do topo, ou de alguma costura. Sempre deve-se registrar onde a nova circunferência foi mensurada e o motivo pelo qual abandonou-se o nível normal e recomendado. E ainda, caso a fita de arqueação não esteja em contato próximo com a superfície do tanque em todo o seu curso, deve-se aplicar uma plataforma de trabalho para que uma correção possa ser calculada.

2.5.6. PROCEDIMENTO DE ARQUEAMENTO

O procedimento de arqueamento consiste em envolver o tanque com a fita na seção indicada. A tensão de calibragem especificada na fita deve ser aplicada com o auxílio dos cabos tensionadores e da balança de mola, e deve ser transmitida por toda a extensão da fita. Na norma recomenda-se que um leve movimento de serra seja aplicado na fita, ou a mesma pode ser passada em volta do tanque, puxando-se para fora do casco do tanque, com as cordas amarradas aos posicionadores de fita, deslizando-os ao longo da fita, conforme é exigido. É importante salientar que se a fita não for suficientemente longa para

o percurso de dar a volta completa no tanque, deve-se medir a circunferência em seções. Este método está descrito na norma. Já se a fita for suficientemente longa para o percurso da volta completa no tanque, selecione o nível do caminho da fita e então passe a fita em volta da circunferência e prenda a fita de forma que a graduação zero não esteja mais próxima do que aproximadamente um terço do comprimento de uma chapa de uma costura vertical. A outra extremidade da fita deve ser levada até o lado, assim aplicando a tensão à balança de mola e certificando-se que seja transmitida por toda a extensão da fita. A leitura deve ser efetuada diretamente da fita oposta à marca zero quando a tensão estiver correta. A leitura então deve ser registrada.

2.5.7. REPETIÇÃO DE MEDIÇÃO

Deve-se medir a circunferência na seção indicada como descrito nos procedimentos anteriores, mas para finalidade de cálculo faz-se necessária a repetição da medida. Para isso deve-se liberar a tensão e trazer a fita novamente ao nível e tensão indicados conforme o método utilizado, repetir e registrar as leituras.

2.5.8. TOLERÂNCIA

As medições são lidas no mm mais próximo e devem ser consideradas satisfatórias se a repetição mostrar concordância dentro das seguintes tolerâncias (Tabela 01):

Tabela 01 - Tolerâncias

Medição Circunferencial em metros	Tolerância em mm
Até 25	± 2
Acima de 25, até 50	± 3
Acima de 50, até 100	± 5
Acima de 100, até 200	± 6
Acima de 200	± 8

FONTE: A autora (2022).

Se não houver concordância entre a tolerância e as medidas obtidas, deve-se repetir e registrar mais medições até que se obtenha a concordância em duas leituras consecutivas. A média destas duas leituras deve ser usada como a circunferência. Caso as medições consecutivas não concordem, as razões para a diferença devem ser determinadas e o procedimento de calibragem deve ser repetido.

3. MATERIAIS

No proposto trabalho, para a efetuação dos ensaios, foram utilizados os seguintes materiais e instrumentos para que o método de arqueação de tanques pudesse ser ensaiado nas tubulações estudadas. Nos capítulos seguintes abordaremos a metodologia e as definições desses ensaios, por enquanto apenas definiremos os materiais empregados. Foram utilizados para os ensaios:

ENSAIO NO LAIG – Laboratório de Instrumentação Geodésica

- Trena métrica de aço com trava de 10,00 metros;
- Fita métrica de PVC com 1,50 metros;
- Trena métrica de fita de PVC com 30,00 metros;
- Régua graduada métrica de aço com 2,00 metros, metro padrão;
- Barbante para materializar o topo horizontalizado;
- Alvos auto-colantes;
- Termômetro;
- Calculadora científica;
- Paquímetro;
- Nível Geodésico Digital Leica DNA03;
- Tripé industrial;
- Laser Scanner Leica BLK360;
- Tubulação de água DN300.

ENSAIO NA SANEPAR

- Trena métrica de fita de PVC com 30,00 metros;
- Trena métrica de aço com trava de 10,00 metros;
- Giz amarelo para materializar alvos;
- Calculadora científica;
- EPI: Botas e Capacetes;
- Laser Scanner Leica BLK360;
- Tubulação de água DN1200.

3.1. TUBULAÇÃO DN300 E DN1200

Para o Ensaio no LAIG foi empregado como objeto de estudo uma tubulação tipo DN300 de PVC (Figura 07), e no Ensaio na SANEPAR foi empregado como objeto de estudo uma tubulação tipo DN1200 de ferro fundido (Figuras 08 e 09), segundo as normas da NBR 7560 – Tubo de ferro fundido dúctil centrifugado, com flanges roscados ou soldados – especificação – 1996, que confere as normativas do Diâmetro Nominal dessas tubulações de água, assim como comprimento e outras especificações, que são as condições mínimas exigíveis para a fabricação e/ou recebimento de tubos de ferro, para serem aplicadas segundo a NBR 12218 – Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – 1994, que fixa as condições exigíveis na elaboração de um projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Também pode-se citar a norma NBR 7665 - Sistemas para adução e distribuição de água – Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica – Requisitos. Parte 1: Requisitos gerais: Home. (Comercialmente PVC Infraestrutura para água) – 1999.

Segundo a NBR 7560 O diâmetro nominal DN é o número que classifica, em dimensão, os elementos de tubulações (tubos, conexões, etc) e que corresponde aproximadamente ao diâmetro interno da tubulação, em milímetros. O diâmetro nominal não deve ser objeto de medição, e nem utilizado para fins de cálculo.

Figura 7 - Tubulação DN300



Fonte: A autora (2022).

Figura 8 - Tubulação DN1200



Fonte: A autora (2022).

Figura 9 - Tubulação de Água DN1200



Fonte: A autora (2022).

3.2. LEVANTAMENTO VOLUMÉTRICO COM LASER SCANNER

Os equipamentos topográficos são instrumentos destinados a aferição de ângulos horizontais e verticais em sua origem, e de acordo com Rabelo, Silva e Silva (2020) O escaneamento ou varredura a laser é uma nova tecnologia, resultado de grande investimento técnico e tecnológico, e traz ganho de tempo e segurança aos trabalhos, além de qualidade aos resultados que proporciona, visto proporcionar a medição de milhões de pontos em alguns poucos minutos.

A tecnologia laser representa superioridade em relação a outras metodologias de mapeamento típicos utilizados no quesito ao detalhamento do objeto mapeado, porém em termos de precisão ainda não podem ser comparadas às estações totais voltadas para trabalhos como monitoramento ou levantamentos industriais. O laser Scanner é um dispositivo de emissão laser, geralmente pulsado, utilizado na medida da distância e que associada à medida de um ângulo vertical e uma direção horizontal, que permite registrar ou gravar coordenadas tridimensionais de certa região ou objeto. É baseado no princípio

da transmissão da luz laser, o ambiente é iluminado ponto a ponto, e a luz é refletida do objeto, e é detectada com a ajuda do método da diferença de fase.

O funcionamento do sistema laser scanner segundo Dalmolin e Santos (2004) para que esse sistema gere coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície, seu princípio de operação, bastante simples, deve ser, que os pulsos laser sejam gerados e emitidos pelo sistema, e com o auxílio de um espelho de varredura sejam direcionados, atingindo a superfície dos objetos em vários pontos. Estes objetos refletem o pulso incidente e parte do pulso volta para o sistema. E com isso, a distância entre o sensor e o objeto é determinada através do intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão, o retorno, do pulso.

O sistema utilizado neste trabalho apresenta três diferentes resoluções: baixa, média e alta, proporcionando a captura em modos distintos dos pontos nas tomadas. Os tempos de obtenção desses pontos variam de acordo com a resolução selecionada. O equipamento apresenta o posicionamento em três dimensões X, Y e Z, por meio de cor natural e intensidade de reflexos de luz, e com o levantamento por pulsos laser e sem a necessidade de equipamentos refletores, define tridimensionalmente objetos e estruturas. De acordo com Wutke (2006, p. 5) “Os sistemas de varredura laser são um aprimoramento das estações totais robotizadas, com maior velocidade de coleta e recursos de automação mais avançados”. Além disso, segundo Tommaselli (2003), é importante ressaltar que os medidores laser passaram a realizar medição de distâncias sem a necessidade de equipamentos de reflexão, e assim permitiu a determinação remota de coordenadas de um objeto, sem contato direto com o mesmo, e ainda a evolução tecnológica que permite o controle de servomecanismos, aplicada a esses equipamentos, que assegurou o desenvolvimento da estação total robotizada por exemplo, que permite a programação de pontos da medição sem um operador.

“O equipamento de laser scanner é um dispositivo de levantamento topográfico terrestre preparado para fornecer informações em três perspectivas de qualquer lugar, mesmo que haja nocividade no local e alto risco a integridade física do operador, em uma excelente escala, de forma proficiente. Essa metodologia indica com precisão a localização e as propriedades de superfícies em áreas de mineração, de indústrias e urbanas, tanto de superfície quanto de subsolo”. (Rabelo, Silva E Silva, 2020, p. 186)

O Laser utilizado nesse trabalho foi Laser Scanner Leica BLK360 (Figura 10), “o menor e mais leve scanner de imagens a laser disponível” segundo sua fabricante, que transmite os dados de nuvens de pontos para um *Ipad* com apenas o toque de um botão. Com o uso do aplicativo ReCap Pro, é possível transferir esses dados da nuvem de pontos para diversos aplicativos CAD (*Computer Aided Design*), BIM (*Building Information Modeling*), VR (*Virtual reality*) e AR (*Augmented Reality*). O Laser Leica BLK360 Permite digitalizar nas resoluções alta, padrão e rápida, pesa 1 kg, seu tamanho é de 165 mm de altura x 100 mm de diâmetro. Menos de 3 minutos para digitalização “*full-dome*” (em resolução padrão) e geração de imagens esféricas de 150 MP. 360.000 pontos de escaneamento a laser/segundo, além de imagem HDR e térmica. A coleta de dados é simplificada, a documentação de imagens 360° e dados de digitalização laser acontece simultaneamente.

Figura 10 - Laser Scanner Leica BLK360 no Ensaio da SANEPAR



Fonte: A Autora (2022).

3.3. TRENA MÉTRICA PARA O MÉTODO DE ARQUEAMENTO

A utilização da Trena ou diastímetro é um método de mensuração direta de medida de distâncias. É dividida, geralmente, de um lado em metros, decímetros e centímetros, e do outro em pés e polegadas inglesas. Seu comprimento pode variar de 3 a 50 metros. É conveniente aferir periodicamente a trena, com um metro padrão, e levar em conta a correção, quando houver, nas medições. A trena de aço por sua vez oferece maior precisão nas medidas, pois

é constituída de uma lamina de aço inoxidável ou não, de 10 a 12mm de largura, e com divisão métrica de um lado e em polegadas do outro. Seu comprimento normal é de 10, 15 ou 20 metros.

A trena métrica empregada em nossa metodologia foi a fita de PVC com 30,00 metros de comprimento, dividida em um lado em medidas métricas, lado esse empregado nas mensurações. Outro instrumento utilizado foi uma trena métrica de aço com trava de 10,00 metros de comprimento, e ainda uma fita métrica de PVC com 1,50 metros de comprimento. Foi empregado para um método de comparação com o metro padrão, uma Régua graduada métrica de aço com 2,00 metros como metro padrão.

A norma empregada para essa mensuração é a NBR 10124 – Trena de Fita – Fibra natural ou sintética – 1987 que trata das suas condições gerais como classificação, classe de precisão, dimensões, material, graduação, tolerância de precisão, resistência à tração, deformação elástica, entre outros. A seguir as figuras 11 e 12 mostram exemplos de Trensas utilizadas convencionalmente segundo a Norma NBR 10124.

Figura 11 - Trena convencional com estojo

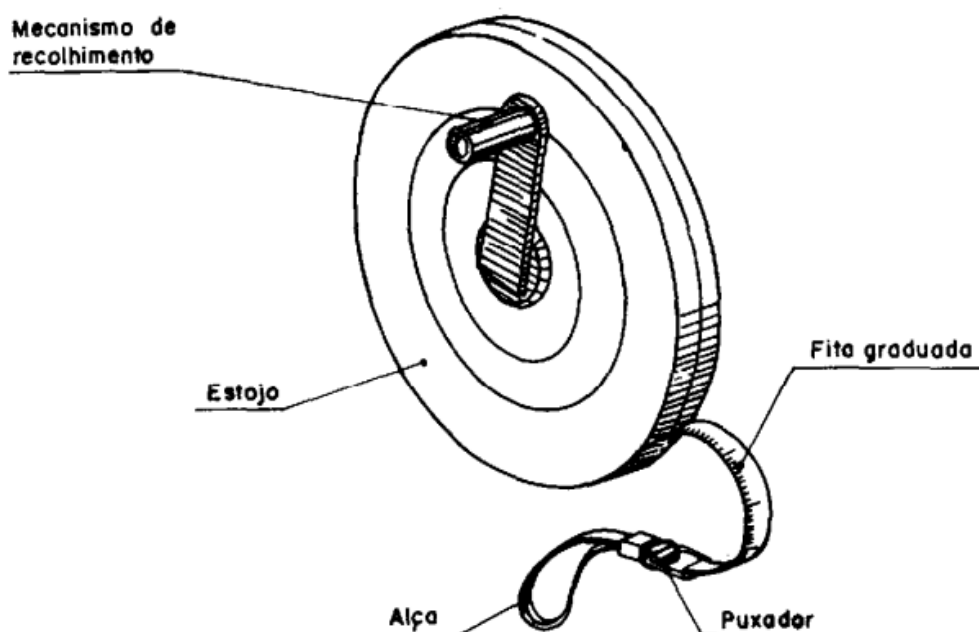


FIGURA 1 – Trena convencional com estojo

Fonte: Norma NBR 10124

Figura 12 - Trena com suporte

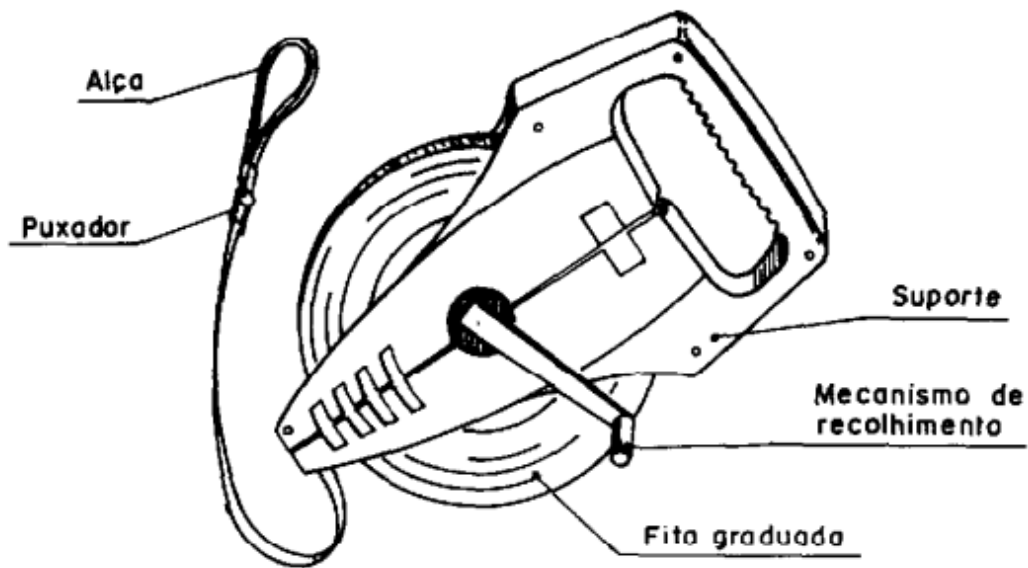


FIGURA 2 – Trena com suporte

Fonte: Norma NBR 10124

No Ensaio do Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG, procedeu-se a comparação da Trena de fita e da fita métrica com o metro padrão de aço. Primeiramente posicionou-se o início de todos os instrumentos a serem comparados em conjunto, conforme ilustra a figura 13.

Figura 13 - Trensas de fita e metro padrão posicionados em seu início



Fonte: A autora (2022)

A seguir foram comparadas as discrepâncias entre os valores entre os instrumentos de mensuração. Existe uma visível diferença entre os instrumentos de medida, o que nos ensaios significará uma diferença entre os valores encontrados nas medições (Figuras 14 e 15).

Figura 14 - Diferenças na posição 50 cm



Fonte: A autora (2022).

Figura 15 - Diferenças na posição 50 cm



Fonte: A autora (2022).

A Norma Técnica ISO 7507-1 -1993 recomenda a calibração de trenas para seu uso no método de arqueação de tanques. Para estes métodos pode-se utilizar a calibração pelo método tradicional de laboratórios de metrologia como citado em Motta, Motta, Silva, Cesar, Walter e Araujo (2012) onde a calibração é feita comparando a trena com uma régua digital padrão, ou ainda uma calibração utilizando um microscópio digital.

4. ENSAIO NO LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA – LAIG

Nos dias 29 e 30 de Março de 2022 no Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG o primeiro ensaio do Método de Arqueamento proposto foi efetuado em nosso objeto de estudo, sendo utilizada neste, como simulador de um tanque vertical, uma tubulação de água DN300. Nesse capítulo será discutido a metodologia empregada, além de serem apresentados os dados obtidos em campo e os resultados gerados através do método de arqueamento proposto e do levantamento com laser scanner respectivamente.

O ensaio do método de arqueamento é inteiramente baseado na Norma Técnica ISO 7507-1-1993, a qual trata do método de arqueamento e calibragem de tanques cilíndricos verticais, para determinação de capacidade de tanques de armazenagem a partir de medições de seções horizontais em forma de circunferências de um tanque em diversas alturas. No nosso ensaio utilizamos como objeto de estudo uma tubulação de água modelo DN300, com forma aproximadamente cilíndrica, colocado na posição vertical. Conseguimos aplicar os pressupostos da norma técnica, com cálculo de área de seções, para o cálculo de volume do objeto em estudo, para calcular as denominadas capacidades volumétricas.

De acordo com a Norma Técnica ISO 7507-1-1993 A metodologia de arqueação de tanques escolhida para aferição nesse ensaio foi a de nível para propósitos de trabalho, onde mensura-se a circunferência do tanque com duas aferições por curso, efetuando uma em cada um dos níveis:

- 1/5 a 1/4 acima da costura horizontal inferior;
- 1/5 a 1/4 abaixo da costura horizontal superior.

4.1. EXPERIMENTO INICIAL NO LAIG

4.1.1. LOCAÇÃO DA SEÇÃO DE REFERÊNCIA

O primeiro movimento realizado para iniciar os trabalhos do método de arqueamento foi calçar a tubulação de água DN300 para que esta mantivesse verticalidade e ficasse estabilizada nesta posição, a solução encontrada foi a utilização de um galão de água colocado no interior da tubulação para a sua verticalização. Então foi aceita a locação do nosso objeto de estudo no laboratório, pois este deveria manter-se em local fixo e imóvel a partir desse momento.

Segundo a Norma NBR7665 - Sistemas para adução e distribuição de água – Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica – Requisitos. Parte 1: Requisitos gerais: Home. (Comercialmente PVC Infraestrutura para água) – 1999 a tubulação DN300 deveria ter, de comprimento 5,72 metros e nosso objeto de estudo não tinha esse comprimento. Inicialmente verificou-se que a tubulação DN300 era irregular, serrada em seu topo, tinha um comprimento menor que o disposto na norma. Isso traria consequências para o cálculo das alturas das seções implantadas no nosso modelo. Então, para solucionar essa questão, decidiu-se implantar uma seção de referência como topo da tubulação, devido a essas irregularidades, a qual foi devidamente horizontalizada com o auxílio de um Nível Geodésico Digital Leica DNA03 devidamente instalado em um tripé industrial, de forma que o fio horizontal do retículo estivesse na altura que estipulou-se para essa seção.

Como o objeto de estudo era imóvel, e para a horizontalização de uma seção de referência com o Nível Geodésico era necessário que o nível percorresse a seção por completo, o que não foi possível, visto que a parte de trás da tubulação não poderia ser visada pelo instrumento, posicionado em sua frente, foram encontradas soluções para esse problema para a devida implantação de nossa seção de referência.

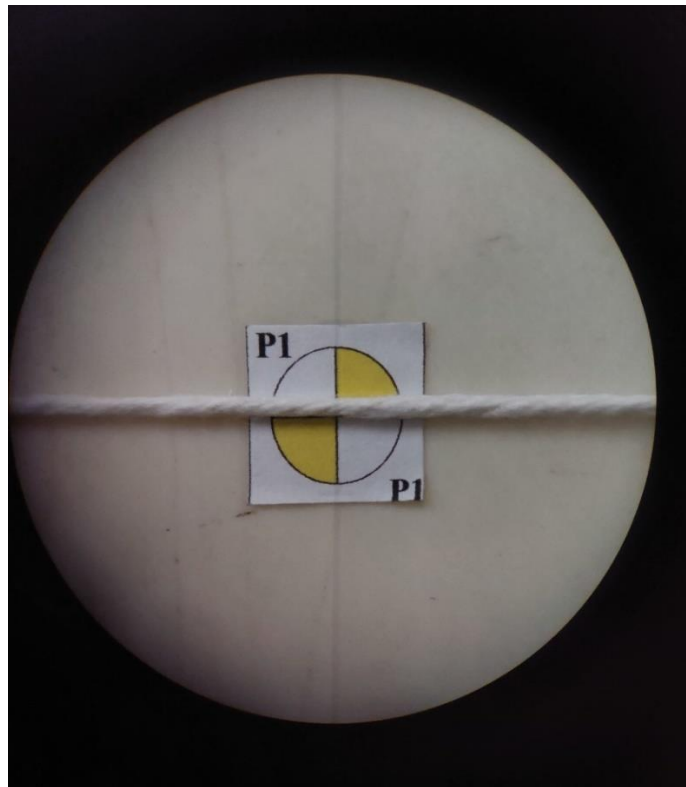
Inicialmente foram implantados 4 alvos na seção de referência, sendo eles P1, P2, P3 e P4, distribuídos de forma homogênea em torno da tubulação materializando a seção. Esses alvos estavam a 1,50 metros do chão, mensurados com trena métrica de aço. Para a implantação da seção de referência, por fim, e não apenas dos alvos, mas de uma linha que a prolongasse, utilizou-se um artifício que se movimentava com facilidade, um barbante, e com o uso do Nível Geodésico percorreu-se pouco mais da metade da tubulação envolvida pelo barbante naquela seção há 1,50 metros do chão, e horizontalizou-se e materializou-se a seção. A parte de trás do nosso objeto de estudo apenas mensurou-se sua distância do barbante até o chão de 1,50 metros e atribui-se como horizontalizado. Pode-se visualizar o procedimento através das figuras 16, 17 e 18.

Figura 16 - Seção de Referência materializada com o barbante e os alvos



Fonte: A autora (2022).

Figura 17 - Visada no alvo ponto P1 na materialização da Seção de Referência



Fonte: A autora (2022).

Figura 18 - Nível Geodésico Leica DNA03 instalado no tripé industrial visando a Seção de Referência implantada na tubulação DN300



Fonte: A autora (2022).

4.1.2. LOCAÇÃO DOS ALVOS PARA MATERIALIZAÇÃO DAS SEÇÕES NA TUBULAÇÃO DN300

Após a implantação da Seção de Referência, as seções inferior e superior foram implantadas através do uso de alvos auto-colantes para materializa-las. Como é descrito na norma, para a metodologia escolhida para o cálculo do método de arqueamento de nível para propósitos de trabalho era necessário demarcar duas seções, a 1/5 da borda inferior e superior respectivamente cada uma, sendo que o comprimento total de nossa tubulação com a seção de referência ficou determinado como 1,50 metros, então as seções (Tabela 02) ficaram dispostas a:

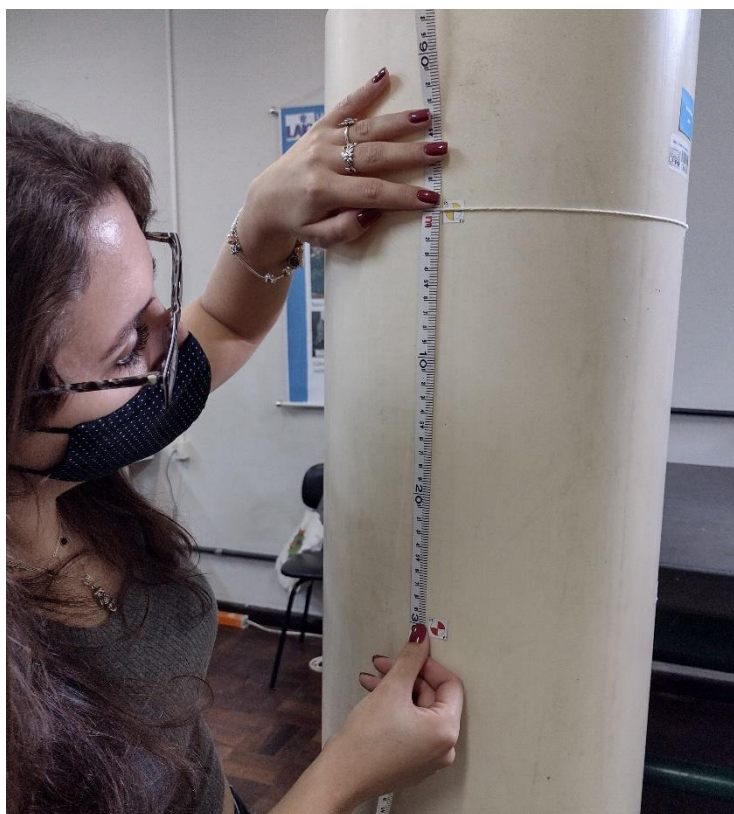
Tabela 02 - Seções na Tubulação DN300

Seção	Locação
Seção Superior	1,20 m
Seção Inferior	0,30 m

FONTE: A autora (2022).

As seções Superior e Inferior foram implantadas e referenciadas na tubulação com o uso da Trena métrica de aço e Trena métrica de fita de PVC para mensurar corretamente a altura dos alvos, a partir do solo, em que deveriam ser posicionados, exatamente no alinhamento dos alvos P1, P2, P3 e P4 da seção de referência, sendo implantados (Figura 19), assim, respectivamente quatro alvos para materializar cada seção da mesma forma.

Figura 19 - A autora implantando a seção superior



Fonte: A autora (2022).

4.1.3. MEDIÇÃO DA ESPESSURA DA TUBULAÇÃO DN300

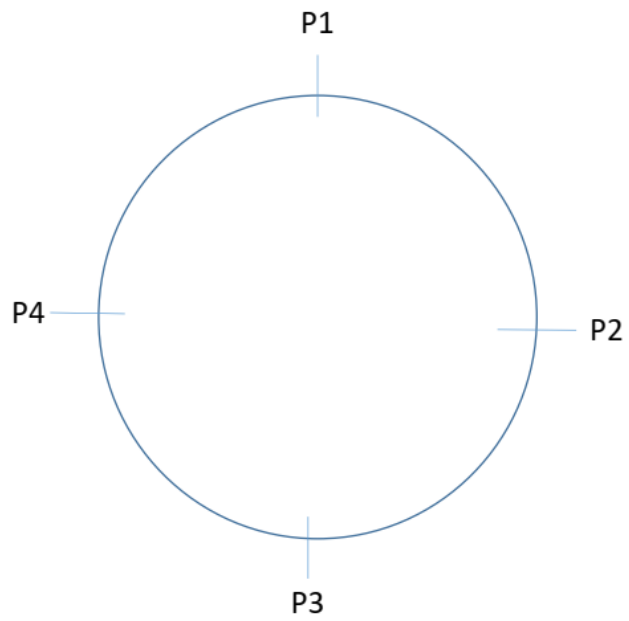
Foi realizada a mensuração da espessura com uso de um paquímetro da tubulação DN300 em quatro pontos, alinhados aos pontos P1, P2, P3 e P4 da seção de referência (Figura 20), observou-se a fabricação desigual da espessura, as irregularidades (Figura 21), e obteve-se os resultados da tabela 03:

Tabela 03 - Espessura da Tubulação DN300

Pontos	Espessura com Paquímetro (mm)
P1	3,60 mm
P2	4,30 mm
P3	3,35 mm
P4	2,45 mm

FONTE: A autora (2022).

Figura 20 - Localização dos Pontos onde foram mensuradas as espessuras



Fonte: A autora (2022).

Figura 21 - Discrepância e irregularidades nas espessuras na Tubulação



Fonte: A autora (2022).

4.2. MÉTODO DE ARQUEAMENTO – LAIG

Para a realização do método de arqueamento das seções conforme a Norma Técnica ISO 7507-1-1993 a aferição escolhida para esse ensaio foi a de nível para propósitos de trabalho, mensuramos a circunferência da tubulação DN300 em nosso ensaio em 3 cursos na Seção Superior e na Seção Inferior, utilizando dois instrumentos diferentes para a mensuração da circunferência e seguindo a metodologia proposta de medição da Norma Técnica ISO 7507-1-1993 adaptada para esse ensaio, pois não utilizamos alguns instrumentos descritos na norma que não eram necessários nesse ambiente com esse modelo exageradamente menor em tamanho comparado a um tanque de petróleo. Não utilizamos primeiramente a fita de arqueamento de aço, que necessitaria de luvas para seu manuseio, posicionadores e cordas de fita, empunhaduras *littlejohn*, balança de mola. Todos esses instrumentos puderam ser substituídos por Trena de fita de PVC nesse modelo em escala diminuída. Também não precisamos do medidor de espessura de tinta, nesse caso, pois nosso modelo não era pintado. Não foram necessários andaimes ou plataformas de trabalho, visto que nosso modelo tinha apenas 1,50 metros de comprimento.

Não foram necessários aparelhos para medição de densidade de líquido, fita de mergulho e contrapeso de mergulho, visto que nosso modelo não estava cheio de líquido algum, e da mesma forma não haviam espaços mortos para serem mensurados por uma régua destinada especialmente para isso. Então, para nosso ensaio de método de arqueamento, bastou o aparelho de medição de espessura, que no caso foi o paquímetro, nossa Trena métrica de fita de PVC para efetuar as medições de circunferências que conferem o arqueamento de seções e o aparelho para medir temperatura, que no caso utilizamos um termômetro já presente no laboratório. Porém, nosso ensaio seguiu todas as exigências do procedimento de arqueamento da norma, recomendações, procedimento, a relação com a repetição, seguiu a forma como a medição da circunferência deve ser efetuada, tudo isso pode ser encontrado na fundamentação teórica do presente trabalho.

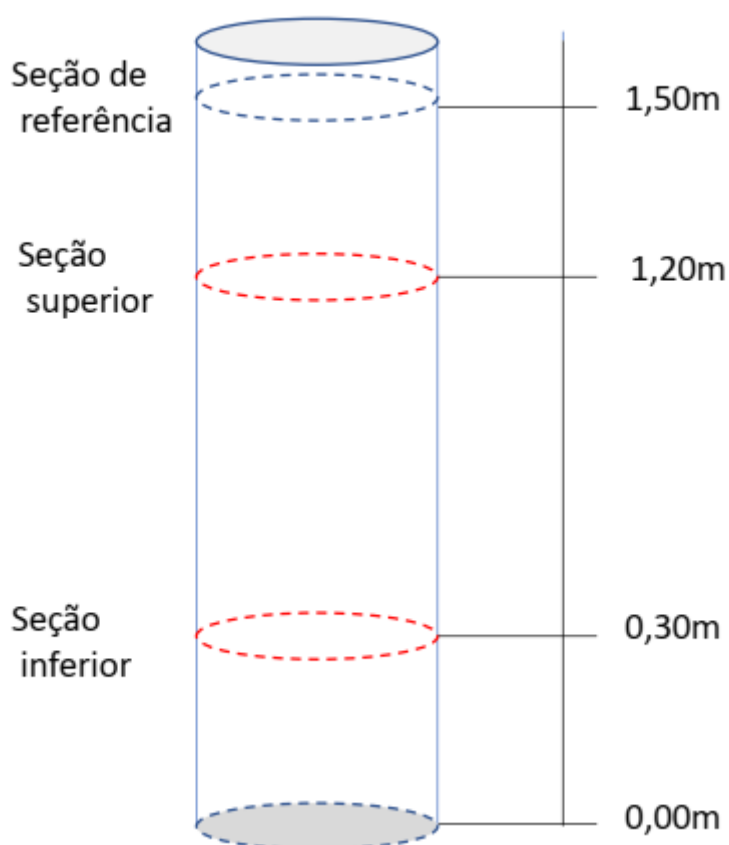
Ao início do nosso método de arqueamento verificou-se a temperatura do laboratório, que no dia 30/03/2022 era de 24,6°C.

Para a realização do ensaio utilizou-se dois instrumentos de medição da circunferência da tubulação DN300, a Trena Métrica de Fita de PVC de 30 metros e uma Fita métrica de PVC de 1,50 metros. Foram feitas 3 sequencias de observações, uma com origem fixa e outras duas com origens variáveis. Variou-se as origens, afim de eliminar-se possíveis erros de marcação nas fitas.

A Trena métrica de PVC tem a resolução de 2mm, e a Fita métrica de PVC tem a resolução de 1mm.

A seguir na figura 22, um modelo demonstrativo das nossas seções de arqueamento mensuradas na tubulação DN300, e em sequência as tabelas com os resultados dos dados de mensuração dos cursos nas seções referidas.

Figura 22 - Tubulação DN300 e suas seções



Fonte: A autora (2022).

Primeira Medição – Utilizando a Trena Métrica de fita de PVC de 30 metros, e a origem está fixa (Tabela 04).

Tabela 04 - Ensaio LAIG - Primeira Medição

Seção	1° curso	2° curso	3° curso
Seção Superior	948 mm	946 mm	947 mm
Seção Inferior	946 mm	946 mm	946 mm

FONTE: A autora (2022).

Segunda Medição – Utilizando a Fita Métrica de PVC de 1,50 metros, e a origem é variável (Tabela 05).

Tabela 05 - Ensaio LAIG - Segunda Medição

	Curso/ Origem	Curso/ Origem	Curso/Origem
Seção	1°/ 10cm	2°/ 5cm	3°/ 20cm
Seção Superior	945 mm	945 mm	946 mm
Seção Inferior	946 mm	944 mm	945 mm

FONTE: A autora (2022).

Terceira Medição – Utilizando a Trena Métrica de fita de PVC de 30 metros, e a origem é variável (Tabela 06).

Tabela 06 - Ensaio LAIG - Terceira Medição

	Curso/ Origem	Curso/ Origem	Curso/Origem
Seção	1°/ 140cm	2°/ 200cm	3°/ 50cm
Seção Superior	945 mm	944 mm	945 mm
Seção Inferior	945 mm	945 mm	944 mm

FONTE: A autora (2022).

Para a realização da mensuração de cada curso do método de arqueamento posicionou-se a Fita de arqueamento abaixo da marcação de cada alvo que materializa as seções superior e inferior, materializando assim o curso com a fita de arqueamento, tomando o devido cuidado para que essa estivesse devidamente horizontalizada, passando por cada alvo, formando um arco horizontal, envolvendo a tubulação, e fazendo-se assim a leitura da medição com cautela, voltando-se ao ponto de origem para a leitura. Era necessário mais de

um operador no equipamento para essa operação se realizar com sucesso e manter a horizontalidade da fita de arqueamento. Conseguiu-se obter a tolerância indicada na Norma Técnica ISO 7507-1-1993 de medição circunferencial de até 25 metros de ± 2 mm. As figuras 23, 24, 25 e 26 ilustram o procedimento realizado.

Figura 23 - Trena Métrica de PVC devidamente horizontalizada materializando um curso passando sobre uma seção



Fonte: A autora (2022).

Figura 24 - Trena Métrica de PVC devidamente horizontalizada materializando um curso passando sobre uma seção



Fonte: A autora (2022).

Figura 25 - Mensuração de um curso com o uso de Fita Métrica de PVC pelo Método de arqueamento



Fonte: A autora (2022).

Figura 26 - Mensuração de um curso com o uso de Trena Métrica de Fita de PVC pelo Método de arqueamento



Fonte: A autora (2022).

4.3. RESULTADOS DO MÉTODO DE ARQUEAMENTO NO LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA – LAIG

Como resultado em análise aos dados brutos, foram efetuados os métodos de cálculo conforme a Norma Técnica ISO 7507-1-1993 para a tabela de capacidades, com valores sempre expressos com uma precisão de cinco figuras significativas, também conforme a normativa. Todos os cálculos foram efetuados no Software Microsoft Excel. Utilizou-se as fórmulas de área de uma circunferência, raio de uma circunferência, e volume para um cilindro.

Sendo C , o comprimento da circunferência, que é o que mensuramos, da expressão obtém-se o valor de r o raio da seção.

$$C = 2\pi r$$

e,

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

A área da circunferência (A) é obtida pela expressão:

$$A = \pi r^2$$

O volume é calculado pela multiplicação da altura do tanque (h) pelas áreas média (A_m) das seções:

$$V = A_m h$$

CÁLCULOS REFERENTES A PRIMEIRA MEDIÇÃO – UTILIZANDO A TRENA MÉTRICA DE FITA DE PVC DE 30 METROS, E A ORIGEM ESTÁ FIXA.

- 1) Medida dos comprimentos das circunferências da Seção Superior, Inferior, Média e Desvio Padrão em metros (Tabela 07).

Tabela 07 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 1

Seção	1° Curso	2° Curso	3° Curso	Média	Desvio Padrão
Superior	0,948 m	0,946 m	0,947 m	0,947 m	0,001 m
Inferior	0,946 m	0,946 m	0,946 m	0,946 m	0,000 m

FONTE: A autora (2022).

- 2) Alturas medidas das Seções (Tabela 08).

Tabela 08 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 2

Seção de Referência	1,500 m
Seção Superior	1,200 m
Seção Inferior	0,300 m

FONTE: A autora (2022).

- 3) Medidas das espessuras da parede do tanque na seção de topo, média e desvio padrão em milímetros (Tabelas 09 e 10).

Tabela 09 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 3

Pontos	Espessura com Paquímetro
P1	3,60 mm
P2	4,30 mm
P3	3,35 mm
P4	2,45 mm

FONTE: A autora (2022).

Tabela 10 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 4

Média	3,4 mm
Desvio Padrão	0,764 mm

FONTE: A autora (2022).

4) Cálculo do Volume.

a) Área da seção superior externa (Tabela 11).

Tabela 11 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 5

Raio	0,1507 m
Área	0,0714 m ²

FONTE: A autora (2022).

b) Área da seção inferior externa (Tabela 12).

Tabela 12 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 6

Raio	0,1506 m
Área	0,0712 m ²

FONTE: A autora (2022).

c) Área média em metros quadrados.

$$\text{Área média} = 0,07129 \text{ m}^2$$

d) Volume Externo Calculado em metros cúbicos.

$$\text{Volume Externo} = 0,10694 \text{ m}^3$$

e) Área da seção superior interna (Tabela 13)

Tabela 13 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 7

Raio	0,1473 m
Área	0,0682 m ²

FONTE: A autora (2022).

f) Área da seção inferior interna (Tabela 14).

Tabela 14 - Ensaio LAIG - Primeira Medição - Cálculos - Parte 8

Raio	0,1471m
Área	0,0680 m ²

FONTE: A autora (2022).

g) Área média da seção interna em metros quadrados.

$$\text{Área média} = 0,06808 \text{ m}^2$$

h) Volume Interno Calculado em metros cúbicos.

$$\text{Volume Interno} = 0,10213 \text{ m}^3$$

CÁLCULOS REFERENTES A SEGUNDA MEDIÇÃO – UTILIZANDO A FITA MÉTRICA DE PVC DE 1,50 METROS, E A ORIGEM DA LEITURA NA TRENA ESTÁ VARIÁVEL.

- 1) Medida dos comprimentos das circunferências da Seção Superior, Inferior, Média e Desvio Padrão em metros (Tabela 15).

Tabela 15 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 1

Seção	1° Curso	2° Curso	3° Curso	Média	Desvio Padrão
Superior	0,945 m	0,945 m	0,946 m	0,9453 m	0,001 m
Inferior	0,946 m	0,944 m	0,945 m	0,9450 m	0,001 m

FONTE: A autora (2022).

- 2) Alturas medidas das Seções (Tabela 16).

Tabela 16 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 2

Seção de Referência	1,500 m
Seção Superior	1,200 m
Seção Inferior	0,300 m

FONTE: A autora (2022).

- 3) Medidas das espessuras da parede do tanque na seção de topo, média e desvio padrão em milímetros (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 3

Pontos	Espessura com Paquímetro
P1	3,60 mm
P2	4,30 mm
P3	3,35 mm
P4	2,45 mm

FONTE: A autora (2022).

Tabela 18 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 4

Média	3,4 mm
Desvio Padrão	0,764 mm

FONTE: A autora (2022).

4) Cálculo do Volume.

a) Área da seção superior externa (Tabela 19).

Tabela 19 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 5

Raio	0,1505 m
Área	0,0711 m ²

FONTE: A autora (2022).

b) Área da seção inferior externa (Tabela 20).

Tabela 20 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 6

Raio	0,1504 m
Área	0,0711 m ²

FONTE: A autora (2022).

c) Área média em metros quadrados.

$$\text{Área média} = 0,07109 \text{ m}^2$$

d) Volume Externo Calculado em metros cúbicos.

$$\text{Volume Externo} = 0,10663 \text{ m}^3$$

e) Área da seção superior interna (Tabela 21).

Tabela 21 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 7

Raio	0,1470 m
Área	0,0679 m ²

FONTE: A autora (2022).

f) Área da seção inferior interna (Tabela 22).

Tabela 22 - Ensaio LAIG - Segunda Medição - Cálculos - Parte 8

Raio	0,1470m
Área	0,0679 m ²

FONTE: A autora (2022).

g) Área média da seção interna em metros quadrados.

$$\text{Área média} = 0,06788 \text{ m}^2$$

h) Volume Interno Calculado em metros cúbicos.

$$\text{Volume Interno} = 0,10183 \text{ m}^3$$

CÁLCULOS REFERENTES A TERCEIRA MEDIÇÃO – UTILIZANDO A TRENA MÉTRICA DE FITA DE PVC DE 30 METROS, E A ORIGEM DA LEITURA NA TRENA ESTÁ VARIÁVEL.

- 1) Medida dos comprimentos das circunferências da Seção Superior, Inferior, Média e Desvio Padrão em metros (Tabela 23).

Tabela 23 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 1

Seção	1° Curso	2° Curso	3° Curso	Média	Desvio Padrão
Superior	0,945 m	0,944 m	0,945 m	0,9447 m	0,001 m
Inferior	0,945 m	0,945 m	0,944 m	0,9447 m	0,001 m

FONTE: A autora (2022).

- 2) Alturas medidas das Seções (Tabela 24).

Tabela 24 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 2

Seção de Referência	1,500 m
Seção Superior	1,200 m
Seção Inferior	0,300 m

FONTE: A autora (2022).

- 3) Medidas das espessuras da parede do tanque na seção de topo, média e desvio padrão em milímetros (Tabelas 25 e 26).

Tabela 25 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 3

Pontos	Espessura com Paquímetro
P1	3,60 mm
P2	4,30 mm
P3	3,35 mm
P4	2,45 mm

FONTE: A autora (2022).

Tabela 26 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 4

Média	3,4 mm
Desvio Padrão	0,764 mm

FONTE: A autora (2022).

4) Cálculo do Volume.

a) Área da seção superior externa (Tabela 27).

Tabela 27 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 5

Raio	0,1503 m
Área	0,0710 m ²

FONTE: A autora (2022).

b) Área da seção inferior externa (Tabela 28).

Tabela 28 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 6

Raio	0,1503 m
Área	0,0710 m ²

FONTE: A autora (2022).

c) Área média em metros quadrados.

$$\text{Área média} = 0,07101 \text{ m}^2$$

d) Volume Externo Calculado em metros cúbicos.

$$\text{Volume Externo} = 0,10652 \text{ m}^3$$

e) Área da seção superior interna (Tabela 29).

Tabela 29 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 7

Raio	0,1469 m
Área	0,0678 m ²

FONTE: A autora (2022).

f) Área da seção inferior interna (Tabela 30).

Tabela 30 - Ensaio LAIG - Terceira Medição - Cálculos - Parte 8

Raio	0,1469m
Área	0,0678 m ²

FONTE: A autora (2022).

g) Área média da seção interna em metros quadrados.

$$\text{Área média} = 0,06781 \text{ m}^2$$

h) Volume Interno Calculado em metros cúbicos.

$$\text{Volume Interno} = 0,10172 \text{ m}^3$$

4.4. DIFERENÇAS OBSERVADAS NOS EXPERIMENTOS NO LAIG

Tabelas de Discrepâncias:

Tabela 31 - Volume Externo – Ensaio do LAIG

Experimento	1	2	3
R ₁ (m)	0,1507	0,1505	0,1503
A ₁ (m ²)	0,0714	0,0711	0,0710
R ₂ (m)	0,1506	0,1504	0,1503
A ₂ (m ²)	0,0712	0,0711	0,0710
Área Média (m ²)	0,071290	0,071090	0,071015
Volume (m ³)	0,10694	0,10663	0,10652

FONTE: A autora (2022).

Tabela 32 - Volume Interno – Ensaio do LAIG

Experimento	1	2	3
R ₁ (m)	0,1473	0,1470	0,1469
A ₁ (m ²)	0,0682	0,0679	0,0678
R ₂ (m)	0,1471	0,1470	0,1469
A ₂ (m ²)	0,0680	0,0679	0,0678
Área Média (m ²)	0,068086	0,067889	0,067816
Volume (m ³)	0,10213	0,10183	0,10172

Fonte: A autora (2022).

Tabela 33 - Diferenças de volumes – Percentual – Ensaio do LAIG

Experimento	1	2	3
Volume (%)	1	-0,29%	-0,40%

Fonte: A autora (2022).

4.5. TABELA DE CAPACIDADES DO TANQUE INTERNO OU CALIBRAGEM DE FUNDO NO ENSAIO NO LAIG

Com o valor da área média interna das seções, produziu-se as tabelas de calibragem de fundo, que indicam a capacidade do tanque em função da altura observada. Escolheu-se nesse caso um incremento de 0,100m na altura para se obter as tabelas.

TABELA DE CAPACIDADE DO TANQUE INTERNO OU CALIBRAGEM DE FUNDO:

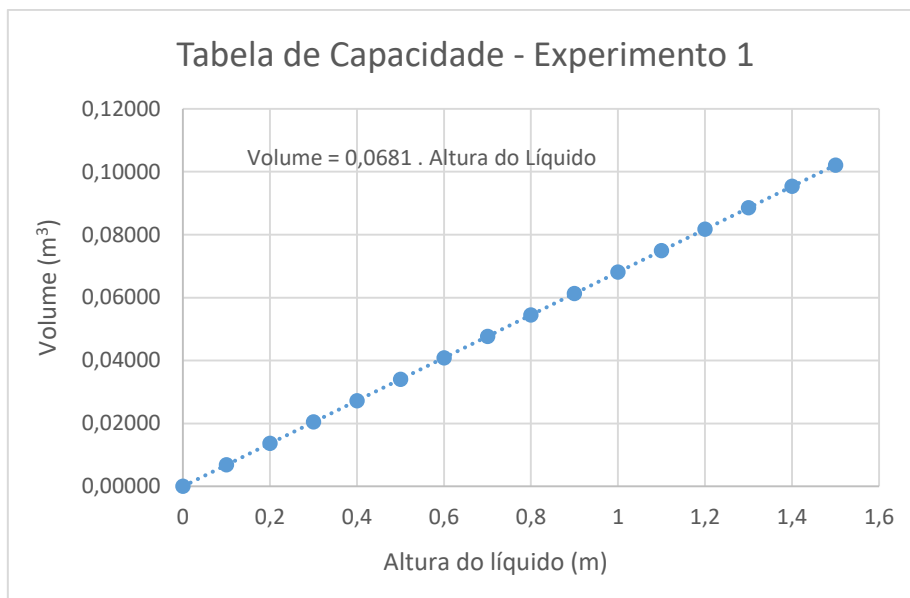
Tabela 34 - Tabela de Capacidade do Tanque Interno ou Calibragem de Fundo – Ensaio LAIG

Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
h (m)	V(m ³)	h (m)	V(m ³)	h (m)	V(m ³)
0	0,00000	0	0,00000	0	0,00000
0,1	0,00681	0,1	0,00679	0,1	0,00678
0,2	0,01362	0,2	0,01358	0,2	0,01356
0,3	0,02043	0,3	0,02037	0,3	0,02034
0,4	0,02723	0,4	0,02716	0,4	0,02713
0,5	0,03404	0,5	0,03394	0,5	0,03391
0,6	0,04085	0,6	0,04073	0,6	0,04069
0,7	0,04766	0,7	0,04752	0,7	0,04747
0,8	0,05447	0,8	0,05431	0,8	0,05425
0,9	0,06128	0,9	0,06110	0,9	0,06103
1	0,06809	1	0,06789	1	0,06782
1,1	0,07489	1,1	0,07468	1,1	0,07460
1,2	0,08170	1,2	0,08147	1,2	0,08138
1,3	0,08851	1,3	0,08826	1,3	0,08816
1,4	0,09532	1,4	0,09505	1,4	0,09494
1,5	0,10213	1,5	0,10183	1,5	0,10172

FONTE: A autora (2022).

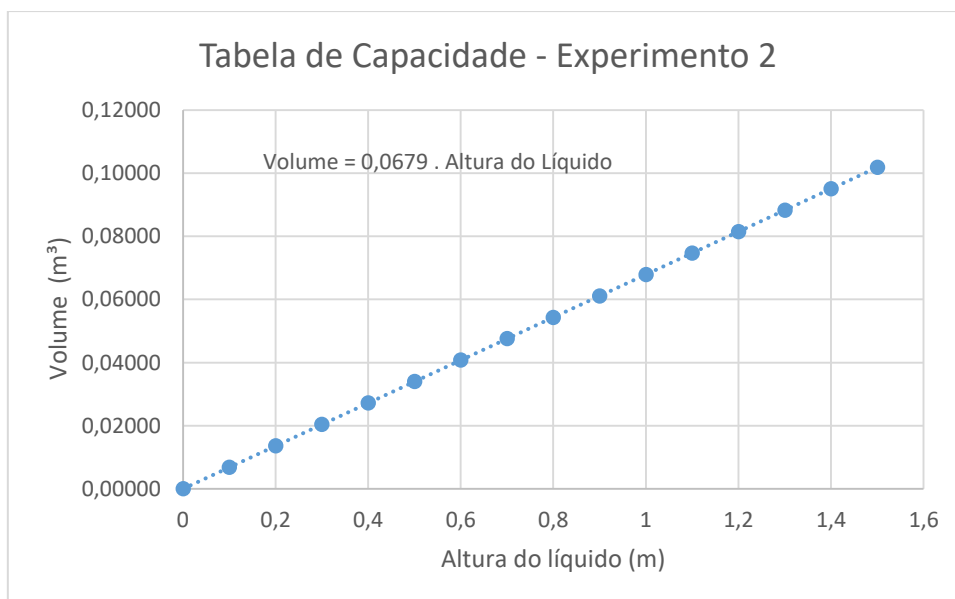
Nos gráficos, figuras 27, 28 e 29, foi utilizada a ferramenta de obtenção da reta de regressão linear, passante pela origem, a qual resulta numa equação de capacidade.

Figura 27 – Representação Gráfica da Tabela de Capacidade – Experimento 1



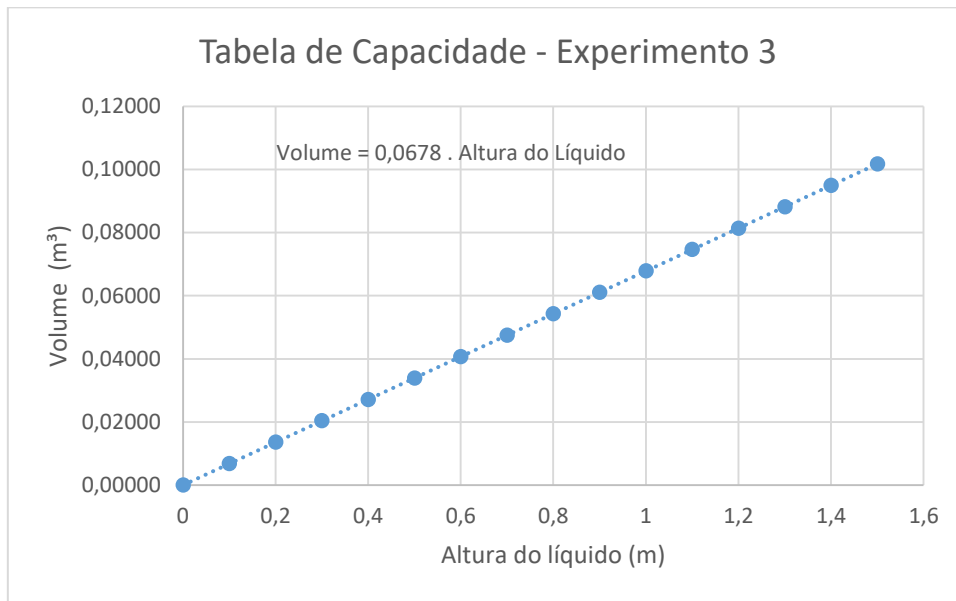
Fonte: A autora (2022).

Figura 28 - Representação Gráfica da Tabela de Capacidade – Experimento 2



Fonte: A autora (2022).

Figura 29 - Representação Gráfica da Tabela de Capacidade – Experimento 3



Fonte: A autora (2022).

Como resultado da Tabela de Capacidade obtém-se as equações para cada experimento. Essas equações do método de arqueamento significam que, a cada “x= altura do líquido” multiplicado pelo parâmetro determinado haverá um “y” que significará um valor volumétrico que preencherá o cilindro de líquido. Para cada arqueamento realizado foi determinada uma equação de calibragem de fundo.

4.6. MÉTODO VOLUMÉTRICO UTILIZANDO O LASER SCANNER NO LAIG

Para comparação do resultado do cálculo volumétrico da tubulação DN300 efetuou-se um levantamento de varredura Laser Scanner terrestre com o equipamento da Leica BLK360. Para isso, instalou-se o equipamento em 4 posições utilizando-se o tripé dentro do laboratório externamente a tubulação, em distância superior a mínima recomendada pelo fabricante do objeto (60 cm), e foi feita também uma instalação interna a tubulação, usou-se um *lpad* para comandar o laser scanner e atribuir as definições, para realizar o levantamento (Figuras 30 e 31).

O levantamento foi executado em alta resolução e gerou 6 nuvens de pontos, interno e externo da tubulação. Os dados foram posteriormente processados no laboratório GEENG – Laboratório de Geodésia Aplicada a Engenharia da Universidade Federal do Paraná no Software Cyclone Register 360, e os resultados obtidos são apresentados. Em seguida utilizou-se o Software CloudCompare para realizar a modelagem, o recorte das seções e o cálculo do volume com os dados laser, que também são apresentados em sequência.

Figura 30 - Laser Scanner Instalado em uma posição fazendo varredura terrestre



Fonte: A autora (2022).

Figura 31 - Laser Scanner em funcionamento



Fonte: A autora (2022).

Realizou-se o levantamento Laser Scanner interno da Tubulação DN300 colocando-se o equipamento invertido dentro da tubulação para a realização da varredura laser, conforme é mostrado nas figuras 32, 33 e 34.

Figura 32 - Laser Scanner realizando a varredura interna na tubulação DN300



Fonte: A autora (2022).

Figura 33 - Equipe posicionando o Laser Scanner para varredura interna na tubulação DN300



Fonte: A autora (2022).

Figura 34 - Laser Scanner realizando varredura interna na tubulação DN300



Fonte: A autora (2022).

4.6.1. RESULTADOS PARA O LEVANTAMENTO LASER SCANNER EXTERNO NO SOFTWARE CYCLONE REGISTER 360

O registro das nuvens foi feito de forma manual, sendo posteriormente refinado pelo próprio programa. Com todas as cenas registradas é feito um ajustamento do conjunto de cenas (este conjunto é denominado de Bundle) e apresentado o erro médio obtido no processo de ajustamento. Vale destacar que a nuvem interna não foi registrada com as nuvens externas devido a falta de um referencial em comum que pudesse ser utilizado no processo de registro.

1) Erros no *Bundle Block Adjustment*

Erro obtido: 0,004 metros

As nuvens são registradas em pares, criando-se os chamados Links. A sobreposição entre as nuvens e os erros médios no processo de registro são apresentados na tabela.

2) Erros nos Links entre as nuvens (Tabela 35).

Tabela 35 - Erros nos Links - Ensaio no LAIG

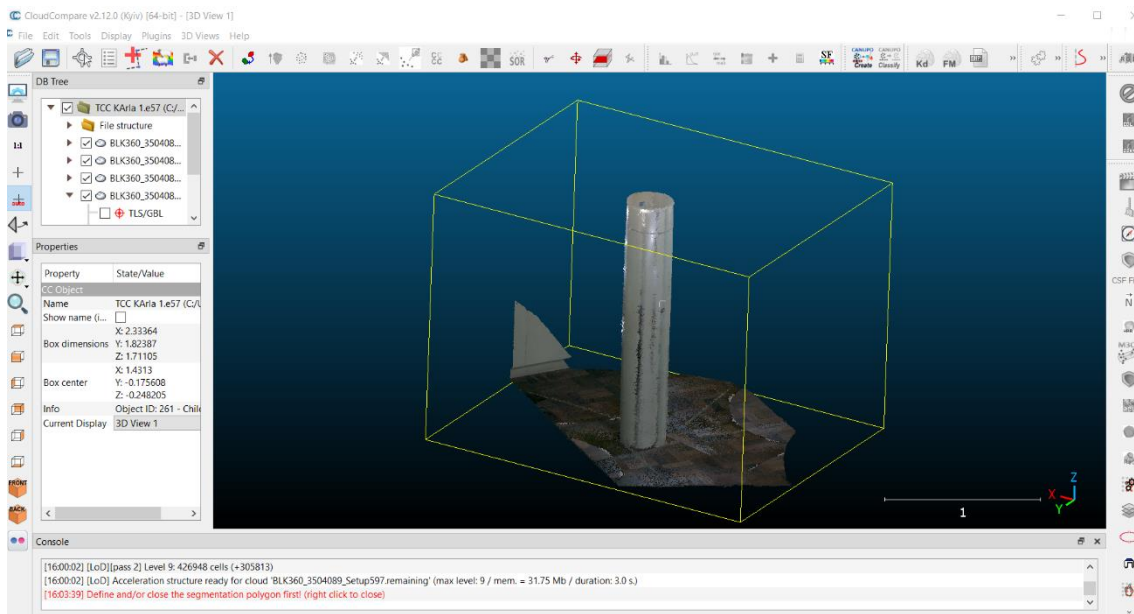
Link	Sobreposição	Absolute Mean Error
1	76%	0,004 m
2	75%	0,005 m
3	80%	0,004 m
4	75%	0,004 m
5	76%	0,005 m
6	82%	0,005 m
7	91%	0,004 m

FONTE: A autora (2022).

4.6.2. RESULTADOS PARA O LEVANTAMENTO LASER SCANNER EXTERNO NO SOFTWARE CLOUDCOMPARE

Após o registro das nuvens é possível exportar os dados em diferentes formatos para trabalhar com outros programas. Optou-se pelo formato .e57. Primeiramente o projeto .e57 gerado pelo Software Cyclone Register 360 já com a nuvem recortada apenas com a região de interesse de trabalho, no caso a tubulação DN300 foi aberta pelo Software CloudCompare. Foi utilizado o comando Merge para unificar todas as nuvens obtidas numa única (Figura35).

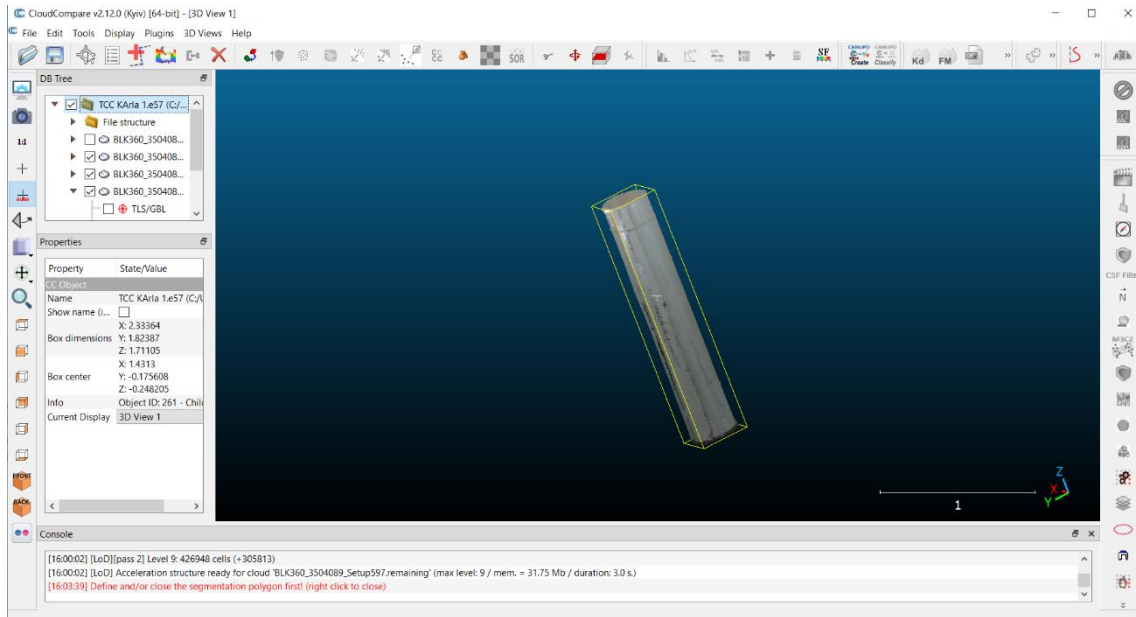
Figura 35 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

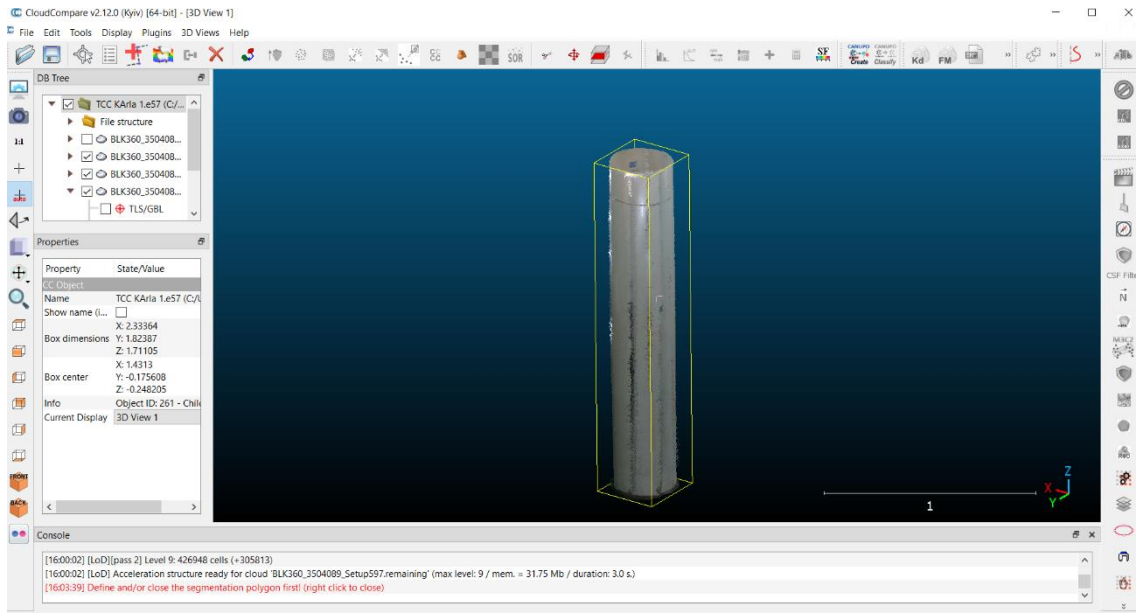
Em seguida, uma limpeza na nuvem de pontos foi efetuada (recorte), de forma a permitir que apenas a tubulação fosse visualizada (Figuras 36 e 37).

Figura 36 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

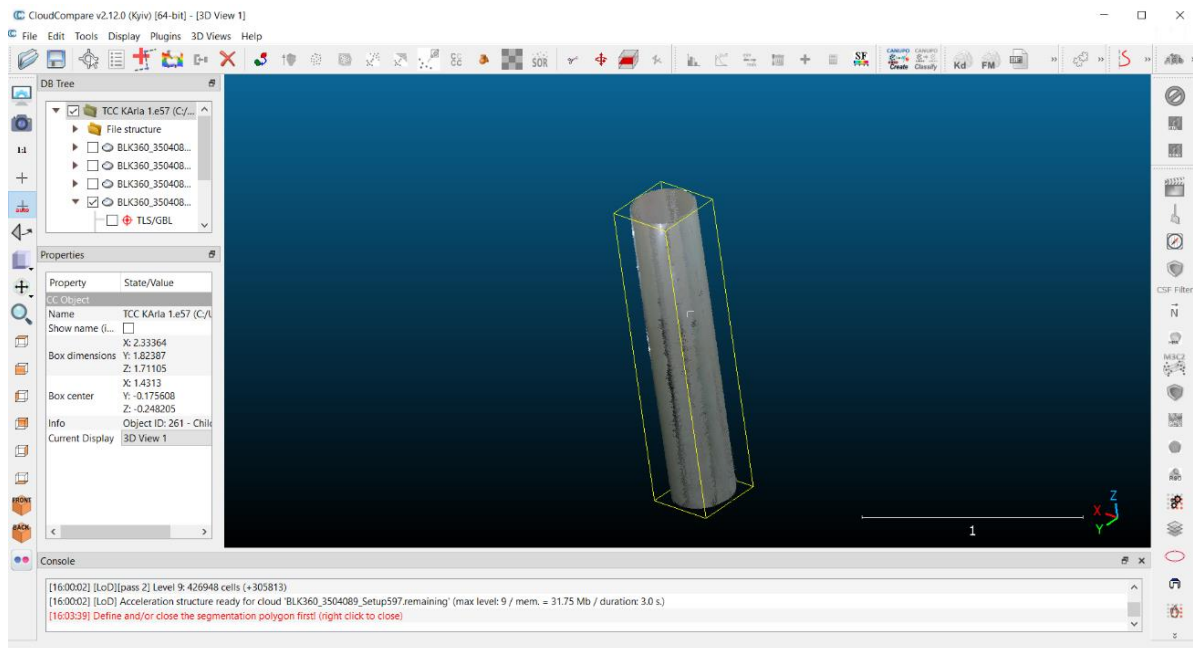
Figura 37 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

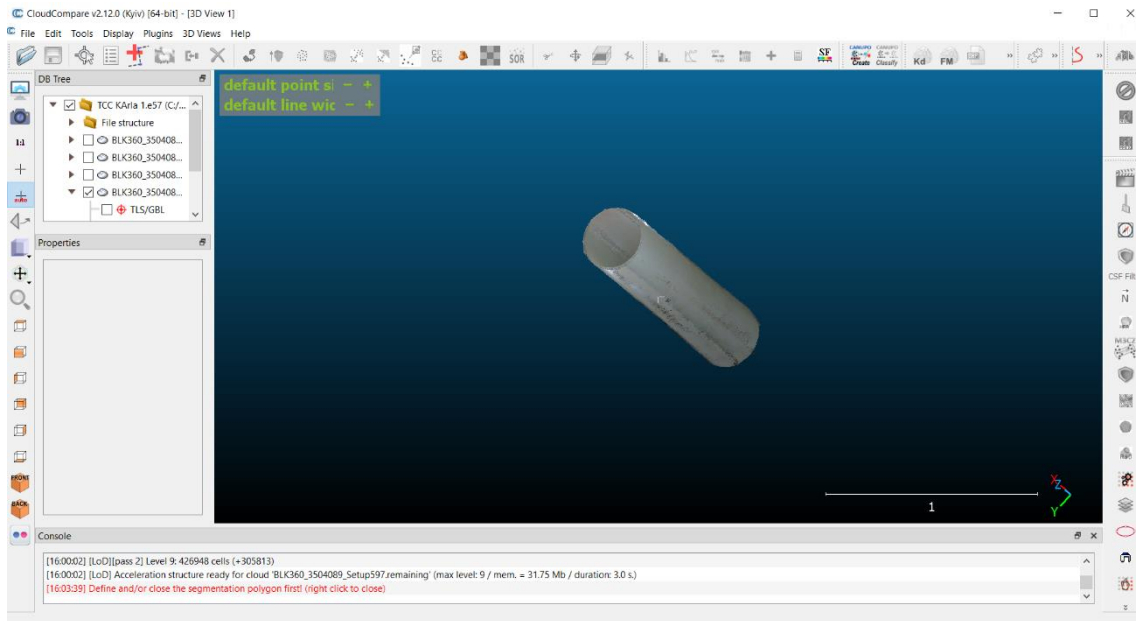
Então, a seção de referência foi demarcada e a tubulação passou a ter o comprimento de 1,50 metros. As figuras 38 a 44 a seguir apresentam a tubulação DN300 no software CloudCompare.

Figura 38 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare



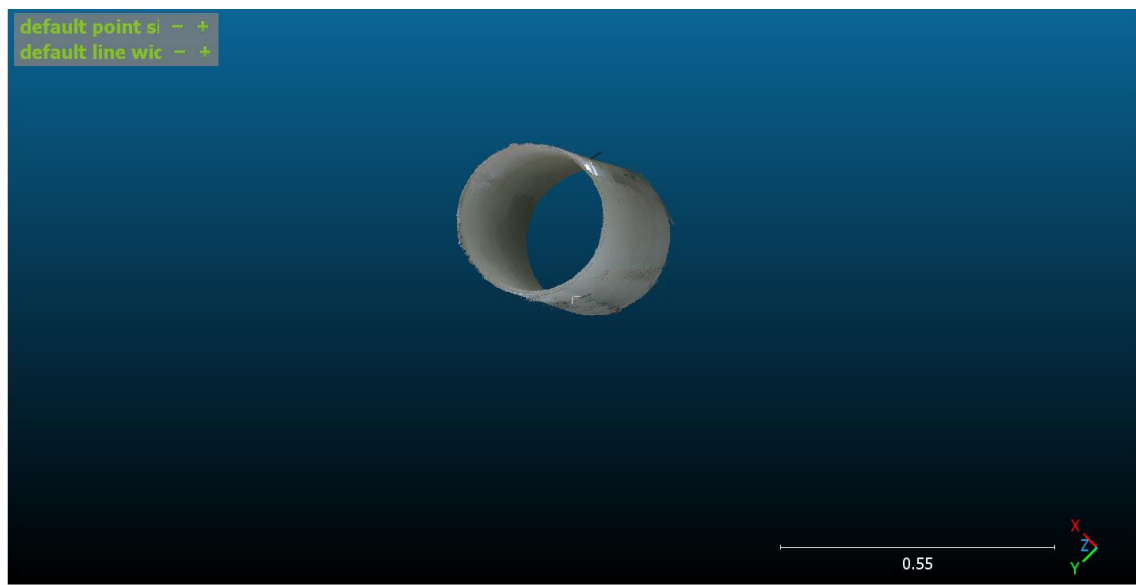
Fonte: A autora (2022).

Figura 39 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

Figura 40 - Visão frontal da nuvem de pontos que está reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

Figura 41 - Vista frontal da nuvem de pontos que está reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare



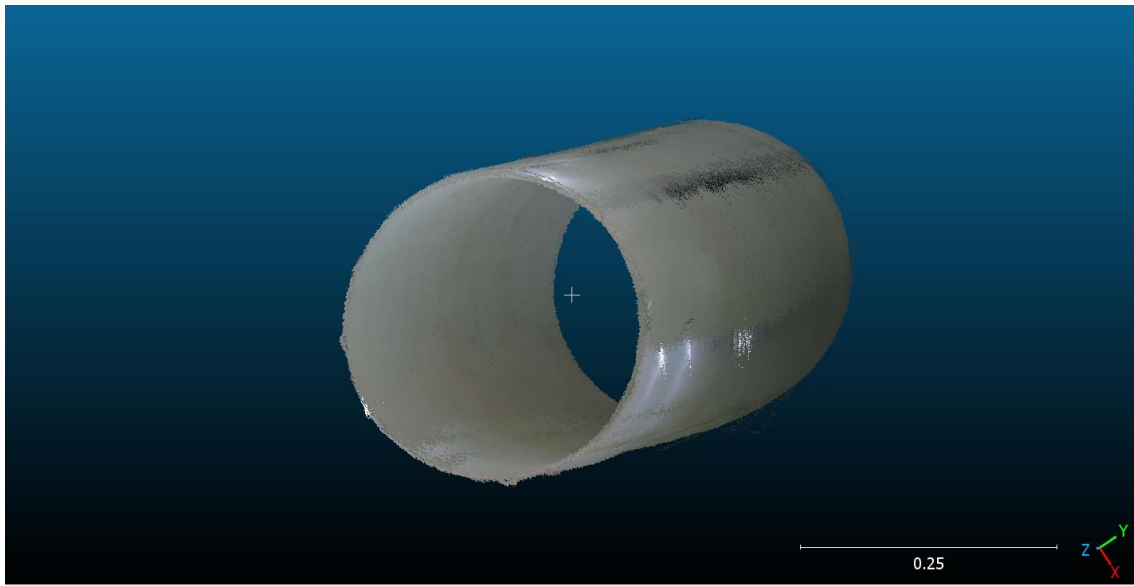
Fonte: A autora (2022).

Figura 42 - Vista frontal da nuvem de pontos que está reconstruindo a tubulação DN300 no software CloudCompare



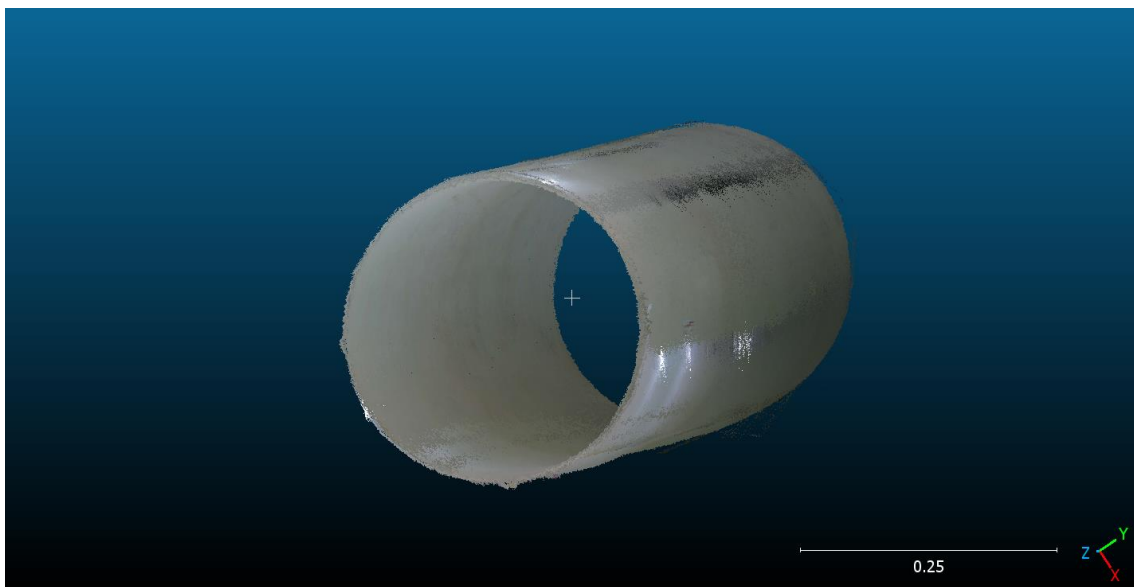
Fonte: A autora (2022).

Figura 43 - A tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

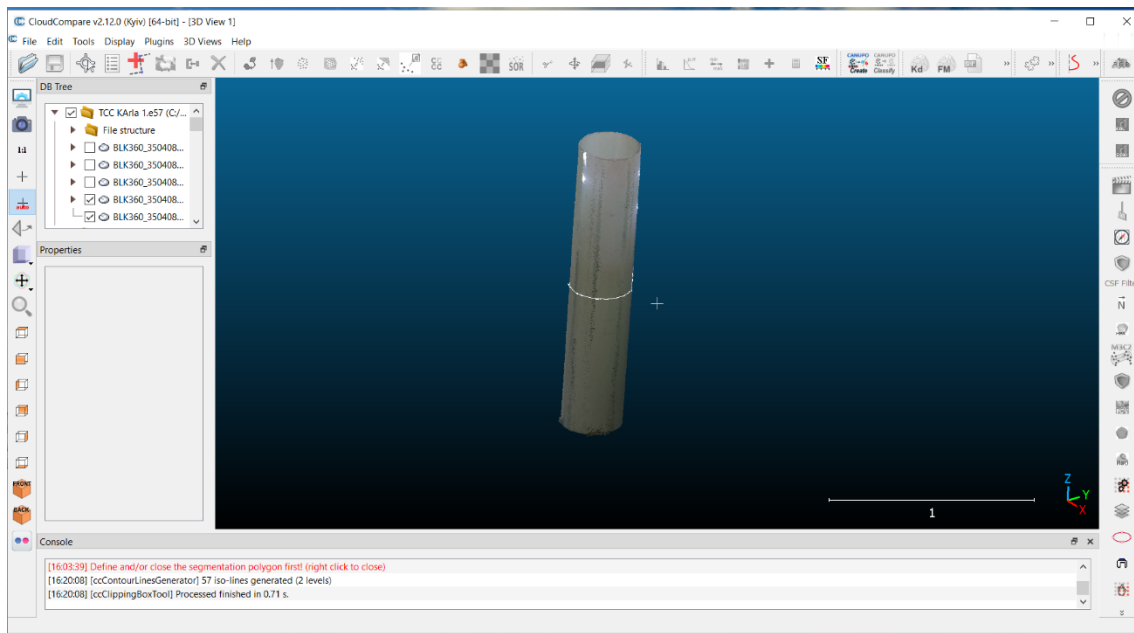
Figura 44 - A tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

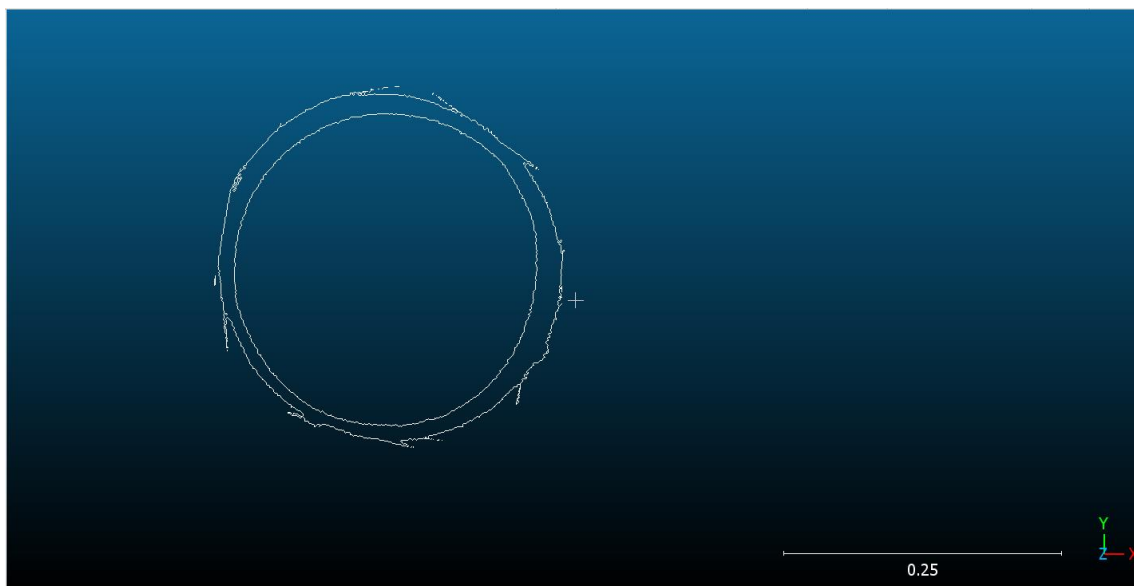
Foi utilizado o comando *cross section* do software, que gerou uma seção que foi definida no meio da tubulação para que o cálculo volumétrico pudesse ser efetuado (Figuras 45 e 46).

Figura 45 - A seção na nuvem de pontos da tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

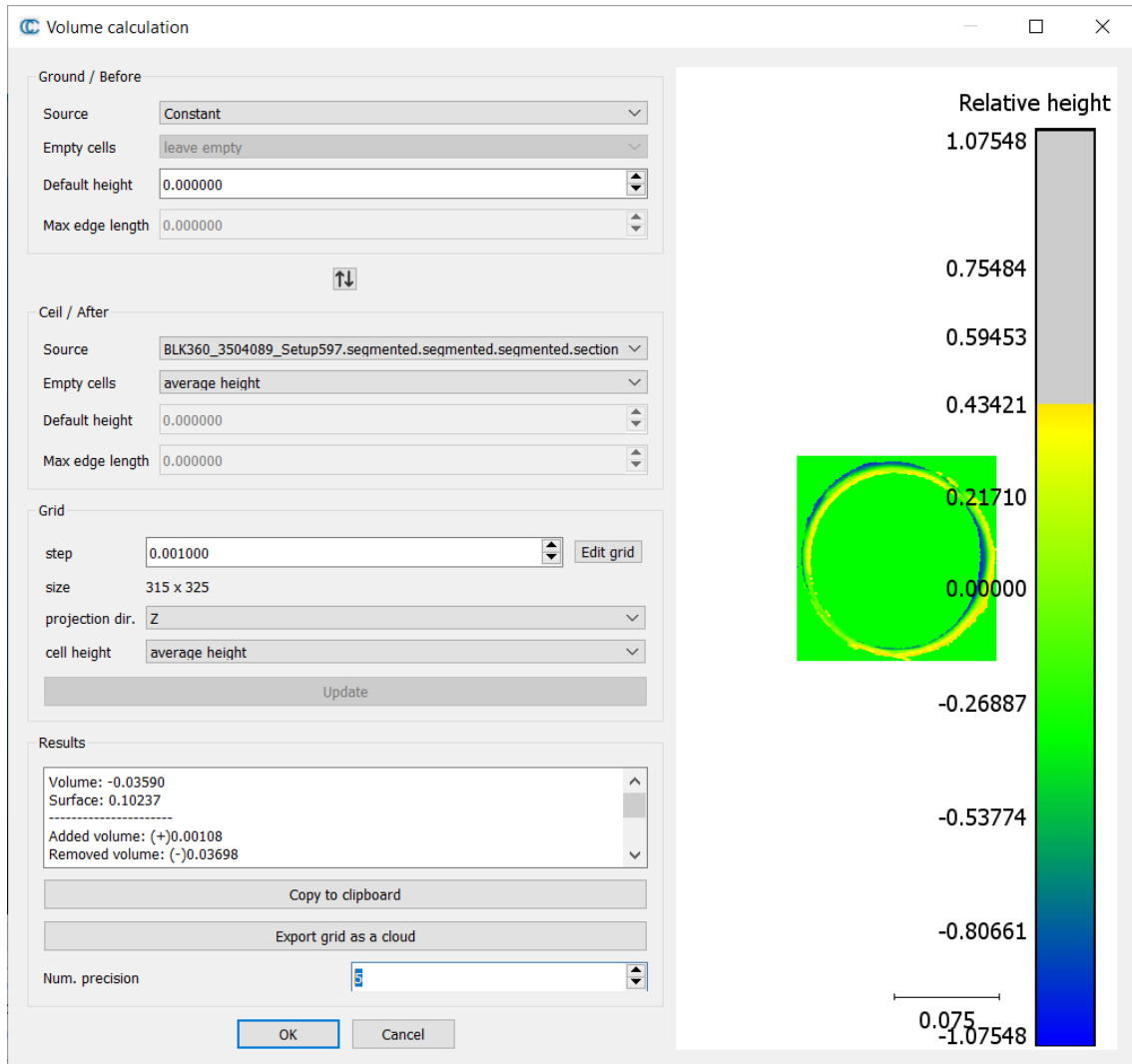
Figura 46 - A seção da tubulação DN300 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

Na imagem seguinte, podemos observar o software realizando o cálculo do volume com sua ferramenta específica (Figura 47).

Figura 47 - O cálculo do volume externo pelo software CloudCompare da tubulação DN300



Fonte: A autora (2022).

Volume Externo calculado pelo software com o uso da nuvem de pontos:

0.10237 m³

4.7. ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS PELAS METODOLOGIAS EMPREGADAS NOS EXPERIMENTOS NO LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA

Em relação ao Levantamento Laser Scanner interno, devido a posição muito próxima do sensor às paredes da tubulação, os resultados não foram satisfatórios, pois houveram muitas áreas de exclusão próximas ao laser scanner, que impediram a correta obtenção de dados.

Os resultados obtidos pelas metodologias restantes empregadas foram bastante satisfatórios, dentro da tolerância permitida pela Norma Técnica ISO 7507 - 1 - 1993 e o valor do volume encontrado foi bastante próximo em ambos os métodos.

Método de Arqueamento Resultados – Volume Externo e Interno (Tabela 36).

Tabela 36 - Método de Arqueamento - Resultados - Ensaio LAIG

Experimento	1	2	3
Volume Externo	0,10694 m ³	0,10663 m ³	0,10652 m ³
Volume Interno	0,10213 m ³	0,10183 m ³	0,10172 m ³

FONTE: A autora (2022).

Método Laser Scanner Resultado – Volume Externo

0,10237 m³

5. ENSAIO NA SANEPAR

No dia 8 de Abril de 2022 em uma das sedes da SANEPAR, localizada na Linha Verde, o segundo ensaio do Método de Arqueamento proposto foi efetuado em nosso segundo objeto de estudo, sendo utilizado neste, como simulador de um tanque horizontal, uma tubulação de água DN1200 (Figura48). Nesse capítulo será empregada a mesma metodologia do ensaio anterior, com algumas modificações, e que também serão discutidas, além de serem apresentados os dados obtidos em campo e os resultados gerados através do método de arqueamento proposto e do levantamento com laser scanner, respectivamente.

O ensaio na SANEPAR foi realizado com a maior tubulação de água disponível nas dependências da sede, com o auxílio de profissionais capacitados, como o Engenheiro Mecânico Felipe Owczarzak e o Técnico Mecânico Alexandre Lisboa. Nesse ensaio fez-se necessário o uso de EPI como botas e capacetes pela equipe de campo.

O ensaio do método de arqueamento é inteiramente baseado na Norma Técnica ISO 7507-1-1993, a qual trata do método de arqueamento e calibragem de tanques cilíndricos verticais, para determinação de capacidade de tanques de armazenagem a partir de medições de seções horizontais em forma de circunferências de um tanque em diversas alturas. No nosso ensaio utilizamos como objeto de estudo uma tubulação de água modelo DN1200, com forma aproximadamente cilíndrica, colocado na posição horizontal, apoiado. Conseguimos aplicar os pressupostos da norma técnica, com cálculo de área de seções, para o cálculo de volume do objeto em estudo, para calcular as denominadas capacidades volumétricas.

A metodologia de arqueação de tanques escolhida foi análoga ao ensaio anterior.

Figura 48 - Tubulação de água DN1200 na sede da SANEPAR



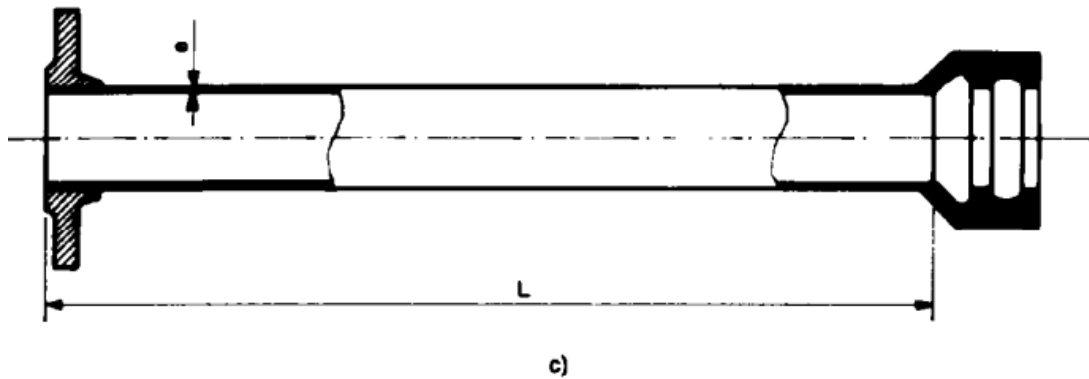
Fonte: A autora (2022).

5.1. MENSURAÇÕES INICIAIS

5.1.1. COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DN1200

Primeiramente, fez-se necessário a mensuração do comprimento da tubulação DN1200. Segundo a Norma NBR 7560 – Tubo de ferro fundido dúctil centrifugado, com flanges roscados ou soldados – especificação – 1996, que confere as normativas do Diâmetro Nominal dessas tubulações de água, assim como comprimento e outras especificações, que são as condições mínimas exigíveis para a fabricação e/ou recebimento de tubos de ferro, o comprimento útil de uma tubulação de água DN1200 é de 6,8 metros (Figura 49).

Figura 49 - Comprimento útil da tubulação DN1200 segundo a Norma NBR 7560



Fonte: Norma NBR 7560 (1996).

O comprimento da tubulação DN1200 foi mensurado com o uso de uma Trena métrica de fita de PVC com 30,00 metros. O comprimento medido com a bolsa da tubulação, e respectivamente sem a bolsa são apresentados na tabela 37 e nas figuras 50 e 51. Também foi mensurado o comprimento da bolsa, que é 0,23 metros.

Tabela 37 - Comprimento total da Tubulação DN1200

Comprimento total com a bolsa	7,18 metros
Comprimento total sem a bolsa	6,95 metros

FONTE: A autora (2022).

Figura 50 - Realizando-se a medição da tubulação DN1200 na lateral com a bolsa



Fonte: A autora (2022).

Figura 51 - Mensurando o comprimento total da tubulação DN1200



Fonte: A autora (2022).

5.1.2. REFERENCIAMENTO DAS SEÇÕES

Após a mensuração do comprimento, estabeleceu-se as demarcações das posições das seções a 1/5 do comprimento da tubulação DN1200. Para nossos cálculos do Método de Arqueamento e referenciamento de seções, utilizaremos o comprimento sem a bolsa. Com o uso de dois materiais estabeleceu-se as seções, sendo estes Giz Amarelo e Trena métrica de fita de PVC com 30,00 metros. As seções foram demarcadas utilizando Giz Amarelo para materializar o posicionamento exato dos pontos onde encontravam-se os valores mensurados com a Trena métrica. Foram marcados 4 pontos, mensurados suas distâncias com a Trena, em torno da tubulação com o Giz para materializar a seção.

O posicionamento das seções é mostrado conforme a tabela 38 e a figura 52.

Tabela 38 - Seções na Tubulação DN1200

SEÇÕES	POSICIONAMENTO
1°	1,39 metros da origem
2°	5,56 metros da origem

FONTE: A autora (2022).

Figura 52 - Realizando o posicionamento das seções na tubulação DN1200



Fonte: A autora (2022).

5.1.3. MEDIDA DA ESPESSURA DA TUBULAÇÃO DN1200

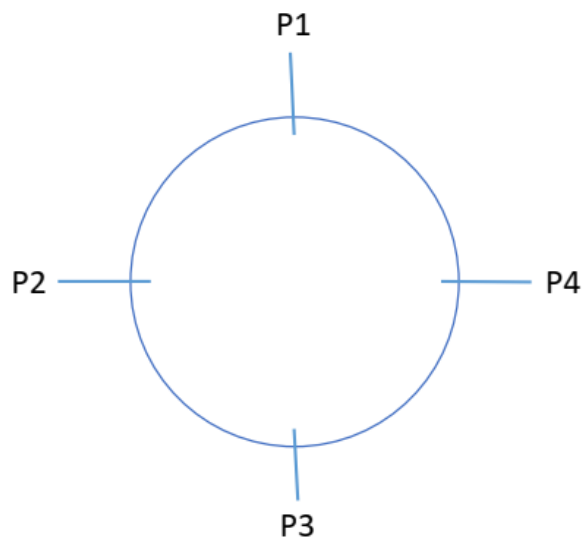
Mediu-se a espessura da tubulação DN1200 na lateral sem a bolsa (Figura 54), em 4 pontos distintos (Figura 53), com o uso de uma Trena métrica de aço com trava de 10,00 metros. Foram obtidos os resultados da tabela 39.

Tabela 39 - Espessuras Tubulação DN1200

Pontos	Espessura (cm)
P1	1,60 cm
P2	1,70 cm
P3	1,50 cm
P4	1,70 cm

FONTE: A autora (2022).

Figura 53 - Localização dos pontos onde mediu-se as espessuras na tubulação DN1200



Fonte: A autora (2022).

Figura 54 - Realizando a medição da espessura na tubulação DN1200



Fonte: A autora (2022).

5.2. MÉTODO DE ARQUEAMENTO – SANEPAR

Para a realização do método de arqueamento das seções conforme a Norma Técnica ISO 7507-1-1993 a aferição escolhida para esse ensaio foi a de nível para propósitos de trabalho, mensuramos a circunferência da tubulação DN1200 em nosso ensaio em 3 cursos na Seção 1ª e na Seção 2ª, utilizando uma Trena métrica de fita de PVC com 30,00 metros para a mensuração da circunferência e seguindo a metodologia proposta de medição da Norma Técnica ISO 7507-1-1993 adaptada para esse ensaio, pois não utilizamos alguns instrumentos descritos na norma que não eram necessários nesse ambiente com esse modelo menor em tamanho comparado a um tanque de petróleo, e horizontalizado. Não utilizamos primeiramente a fita de arqueamento de aço, que necessitaria de luvas para seu manuseio, posicionadores e cordas de fita, empunhaduras *littlejohn*, balança de mola. Todos esses instrumentos puderam ser substituídos por Trena de fita de PVC nesse modelo em escala diminuída.

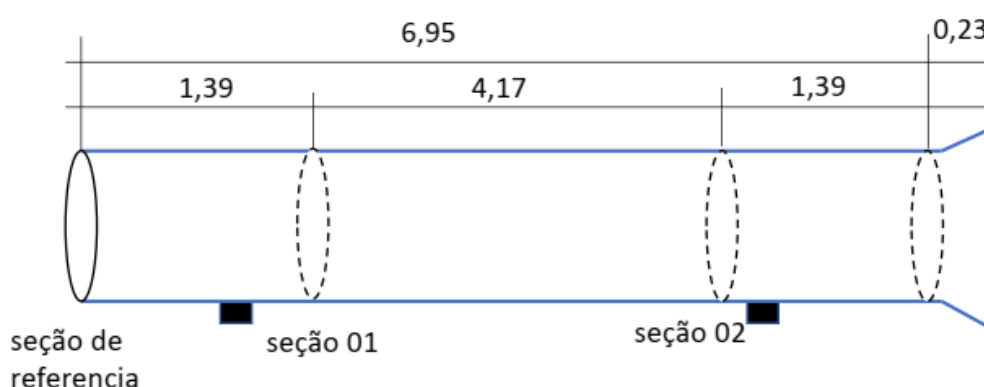
Não tínhamos o medidor de espessura de tinta, nesse caso, e o nosso modelo apresentava ferrugem, e para resolvermos o problema efetuamos uma raspagem nas áreas de contato da Trena no momento de calibração. Não foram necessários andaimes ou plataformas de trabalho, esse modelo é horizontal. Não foram necessários aparelhos para medição de densidade de líquido, fita de mergulho e contrapeso de mergulho, visto que nosso modelo não estava cheio de líquido algum, e da mesma forma não haviam espaços mortos para serem mensurados por uma régua destinada especialmente para isso. O ensaio foi feito ao ar livre e não foi realizada medição da temperatura. Então, para nosso ensaio de método de arqueamento, bastou o aparelho de medição de espessura, que no caso foi uma Trena métrica de aço, e a Trena métrica de fita de PVC para efetuar as medições de circunferências que conferem o arqueamento de seções.

Porém, nosso ensaio seguiu todas as exigências do procedimento de arqueamento da norma, recomendações, procedimento, a relação com a repetição, seguiu a forma como a medição da circunferência deve ser efetuada, tudo isso pode ser encontrado na fundamentação teórica do presente trabalho.

Para a realização do ensaio foram feitas 3 sequencias de observações, com origens variáveis. Variou-se as origens, afim de eliminar-se possíveis erros de marcação na fita. A Trena métrica de PVC utilizada tem a resolução de 2mm.

A seguir, na figura 55, um modelo demonstrativo das nossas seções de arqueamento mensuradas na tubulação DN1200, e em sequência as tabelas com os resultados dos dados de mensuração dos cursos nas seções referidas.

Figura 55 - Tubulação DN1200 e as respectivas seções



Fonte: A autora (2022).

Tabela 40 - Ensaio SANEPAR - Medições

	Curso/ Origem	Curso/ Origem	Curso/Origem
Seção	1º/ 1,00 metros	2º/ 2,00 metros	3º/ 3,00 metros
Seção 1º	3,943 metros	3,944 metros	3,943 metros
Seção 2º	3,947 metros	3,946 metros	3,946 metros

FONTE: A autora (2022).

Para a realização da mensuração de cada curso do método de arqueamento posicionou-se a Fita de arqueamento sobre a marcação de giz que materializa as seções 1º e 2º, materializando assim o curso com a fita de arqueamento, tomando o devido cuidado para que essa estivesse devidamente verticalizada (toda a medida realizada no mesmo plano vertical), passando por cada marcação de giz, formando um arco, envolvendo a tubulação, e fazendo-

se assim a leitura da medição com cautela, voltando-se ao ponto de origem para a leitura. Era necessário mais de um operador no equipamento para essa operação se realizar com sucesso e manter a fita de arqueamento devidamente posicionada.

Conseguiu-se obter a tolerância indicada na Norma Técnica ISO 7507-1-1993 de medição circunferencial de até 25 metros de ± 2 mm. O método de arqueamento pode ser visualizado através das figuras 56 à 59.

Figura 56 - Método de Arqueamento



Fonte: A autora (2022).

Figura 57 - Método de Arqueamento



Fonte: A autora (2022).

Figura 58 - Leitura de uma seção no Método de Arqueamento



Fonte: A autora (2022).

Figura 59 - Fita de arqueamento envolvendo a tubulação – Método de Arqueamento



Fonte: A autora (2022).

Inicialmente, antes de realizar-se a raspagem da ferrugem sobre a área de calibragem da tubulação efetuou-se uma medição sobre a seção 2º com a origem em 3,00 metros (Figura 60). A diferença pode ser visualizada na tabela 41 a seguir.

Tabela 41 - Seções e Raspagem

Seção antes da raspagem	3,950 metros
Seção após a raspagem	3,946 metros

FONTE: A autora (2022).

Esses valores demonstram a importância em atentar a fatores como ferrugem, sujeira, tinta incrustada, bolhas, e outros fatores que podem gerar erros na hora da calibração de tanques.

Figura 60 - Presença de ferrugem na superfície do tanque na leitura de uma seção



Fonte: A autora (2022).

5.3. RESULTADOS DO MÉTODO DE ARQUEAMENTO NA SANEPAR

Como resultado em análise aos dados brutos, foram efetuados os métodos de cálculos conforme a Norma Técnica ISO 7507-1-1993 para a tabela de capacidades, com valores sempre expressos com uma precisão de cinco figuras significativas, também conforme a normativa. Todos os cálculos foram efetuados no Software Microsoft Excel. Utilizou-se as fórmulas de área de uma circunferência, raio de uma circunferência, e volume para um cilindro.

Sendo C, o comprimento da circunferência, que é o que mensuramos, da expressão obtém-se o valor de r o raio da seção.

$$C = 2\pi r$$

e,

$$r = \frac{C}{2\pi}$$

A área da circunferência (A) é obtida pela expressão:

$$A = \pi r^2$$

O volume é calculado pela multiplicação da altura do tanque (h) pelas áreas média (A_m) das seções:

$$V = A_m h$$

CÁLCULOS REFERENTES AO MÉTODO DE ARQUEAMENTO - UTILIZANDO A TRENA MÉTRICA DE FITA DE PVC DE 30 METROS, E A ORIGEM DA TRENA ESTÁ VARIÁVEL

- 1) Seções definidas (Tabela 42).

Tabela 42 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 1

Seção de Origem	0,00 m
Seção 1°	1,390 m
Seção 2°	5,560 m
Comprimento total	6,950 m

FONTE: A autora (2022).

- 2) Medida dos comprimentos das circunferências da Seção 1°, 2°, Média e Desvio Padrão em metros (Tabela 43).

Tabela 43 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 2

Seção	1° curso	2° curso	3° curso	Média	Desvio Padrão
Seção 1°	3,943 m	3,944 m	3,943 m	3,9433 m	0,001 m
Seção 2°	3,947 m	3,946 m	3,946 m	3,9463 m	0,001 m

FONTE: A autora (2022).

- 3) Medidas das espessuras da parede do tanque na seção de origem, média e desvio padrão em metros (Tabelas 44 e 45).

Tabela 44 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 3

Pontos	Espessura (m)
P1	0,0160 m
P2	0,0170 m
P3	0,0150 m
P4	0,0170 m

FONTE: A autora (2022).

Tabela 45 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 4

Média	0,0163 m
Desvio Padrão	0,000957 m

FONTE: A autora (2022).

4) Cálculo do Volume

a) Área da seção 1° externa (Tabela 46).

Tabela 46 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 5

Raio	0,6276 m
Área	1,2374 m ²

FONTE: A autora (2022).

b) Área da seção 2° externa (Tabela 47).

Tabela 47 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 6

Raio	0,6281 m
Área	1,2393 m ²

FONTE: A autora (2022).

c) Área média em metros quadrados

$$\text{Área média} = 1,238362 \text{ m}^2$$

d) Volume Externo Calculado em metros cúbicos

$$\text{Volume Externo} = 8,60661 \text{ m}^3$$

e) Área da seção 1° interna (Tabela 48).

Tabela 48 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 7

Raio	0,6114 m
Área	1,1742 m ²

FONTE: A autora (2022).

f) Área da seção 2° interna (Tabela 49).

Tabela 49 - Ensaio SANEPAR - Cálculos - Parte 8

Raio	0,6118 m
Área	1,1760 m ²

FONTE: A autora (2022).

g) Área média da seção interna em metros quadrados

$$\text{Área média} = 1,175088 \text{ m}^2$$

h) Volume Interno Calculado em metros cúbicos

$$\text{Volume Interno} = 8,16686 \text{ m}^3$$

5.4. TABELA DE CAPACIDADES DO TANQUE INTERNO OU CALIBRAGEM DE FUNDO

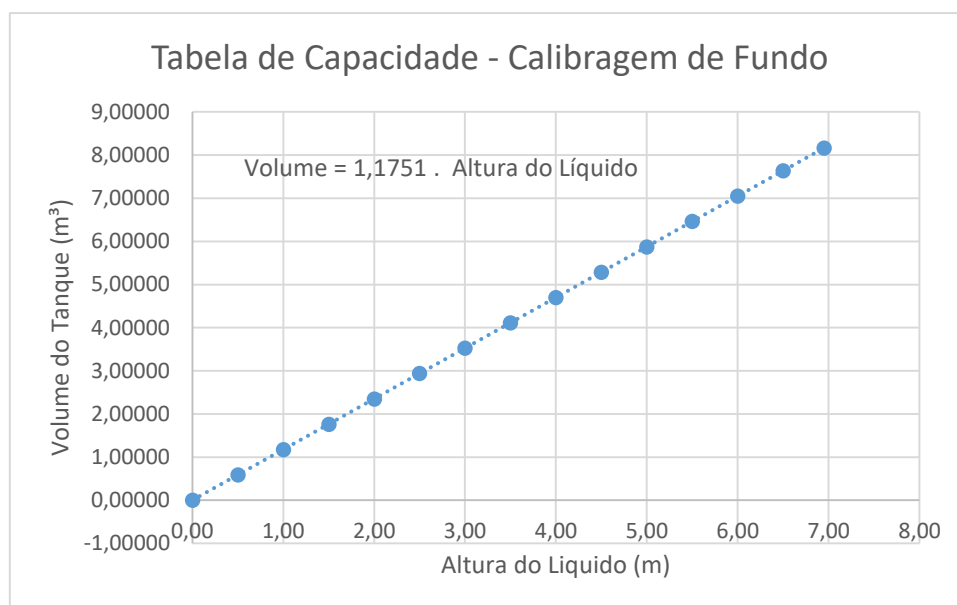
Com o valor da área média interna das seções, produziu-se as tabelas de calibragem de fundo, que indicam a capacidade do tanque em função da altura observada. Escolheu-se nesse caso um incremento de 0,50 m na altura para se obter a tabela 50 e o gráfico (Figura 61).

Tabela 50 - Tabela de Capacidade do Tanque Interno ou Calibragem de Fundo - Ensaio SANEPAR

h(m)	V(m ³)
0,00	0,00000
0,50	0,58754
1,00	1,17509
1,50	1,76263
2,00	2,35018
2,50	2,93772
3,00	3,52526
3,50	4,11281
4,00	4,70035
4,50	5,28789
5,00	5,87544
5,50	6,46298
6,00	7,05053
6,50	7,63807
6,95	8,16686

FONTE: A autora (2022).

Figura 61 - Representação Gráfica da Tabela de Capacidade – Calibragem de Fundo - Ensaio SANEPAR



Fonte: A autora (2022).

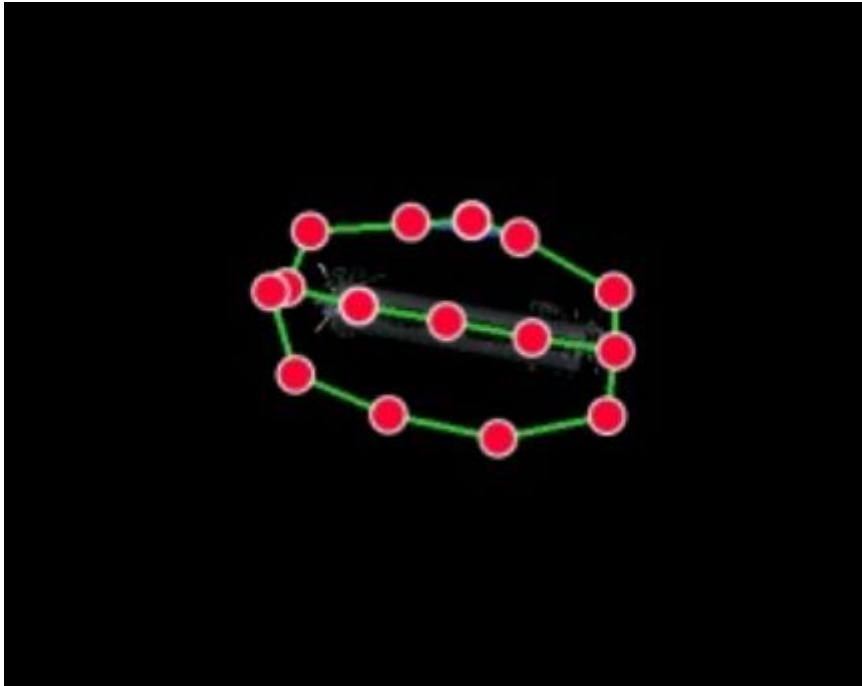
No gráfico foi utilizada a ferramenta de obtenção da reta de regressão linear, passante pela origem, a qual resulta numa equação de capacidade.

E como resultado da Tabela de Capacidade obtém-se as equações para cada experimento. Essas equações do método de arqueamento significam que, a cada “x= altura do liquido” multiplicado pelo parâmetro determinado haverá um “y” que significará um valor volumétrico que preencherá o cilindro de líquido. Para cada arqueamento realizado foi determinada uma equação de calibragem de fundo. A Equação de Calibragem utiliza o volume interno do cilindro.

5.5. MÉTODO VOLUMÉTRICO UTILIZANDO O LASER SCANNER

Para comparação do resultado do cálculo volumétrico da tubulação DN1200 efetuou-se um levantamento de varredura Laser Scanner terrestre com o equipamento da Leica BLK360. Para isso, instalou-se o equipamento em 12 posições utilizando-se o tripé externamente e internamente à tubulação, em distância recomendada pelo fabricante do objeto, e foi feita também 3 instalações internas a tubulação. Os posicionamentos das instalações do equipamento são mostrados na figura 62. Usou-se um *lpad* para comandar o laser scanner e atribuir as definições, para realizar o levantamento.

Figura 62 - Instalações do equipamento Laser Scanner



Fonte: A autora (2022).

O levantamento foi executado em alta resolução e gerou 23 nuvens de pontos, interno e externo da tubulação. Os dados foram posteriormente processados no laboratório GEENG – Laboratório de Geodésia Aplicada a Engenharia da Universidade Federal do Paraná no Software Cyclone Register 360, e os resultados obtidos são apresentados. Em seguida utilizou-se o Software CloudCompare para realizar a modelagem, o recorte das seções e o cálculo do volume com os dados laser, que também são apresentados em sequência. Neste caso, foi possível registrar todas as nuvens, externas e internas em um único modelo, devido ao diâmetro do tubo e ao posicionamento escolhido do laser no interior da tubulação, com posições próximas às saídas da tubulação, que permitiu a coleta de dados internos, mas também de feições externas utilizadas no registro com as cenas tomadas fora da tubulação. As figuras 63 a 66 demonstram o Levantamento Laser Scanner Externo e Interno à tubulação DN1200.

Figura 63 - Laser Scanner Instalado em uma posição fazendo varredura terrestre



Fonte: A autora (2022).

Figura 64 - Laser Scanner Instalado em uma posição fazendo varredura terrestre



Fonte: A autora (2022).

Figura 65 - Laser Scanner Instalado em uma posição internamente à tubulação, fazendo varredura terrestre



Fonte: A autora (2022).

Figura 66 - Laser Scanner Instalado em uma posição internamente à tubulação, fazendo varredura terrestre



Fonte: A autora (2022).

5.5.1. RESULTADOS PARA O LEVANTAMENTO LASER SCANNER EXTERNO E INTERNO À TUBULAÇÃO DN1200 NO SOFTWARE CYCLONE REGISTER 360

3) Erros no Bundle Block Adjustment.

Erro obtido: 0,007 metros

4) Erros nos Links entre as nuvens (Tabela 51).

Tabela 51 - Erros nos links - Ensaio SANEPAR

Link	Sobreposição	Absolute Mean Error
1	42%	0,004 m
2	45%	0,003 m
3	44%	0,003 m
4	45%	0,004 m
5	47%	0,005 m
6	46%	0,015 m
7	57%	0,012 m
8	0%	0,000 m
9	49%	0,014 m
10	64%	0,009 m
11	64%	0,012 m
12	34%	0,008 m
13	45%	0,012 m
14	60%	0,006 m
17	61%	0,006 m
18	69%	0,006 m
19	62%	0,006 m
20	73%	0,005 m

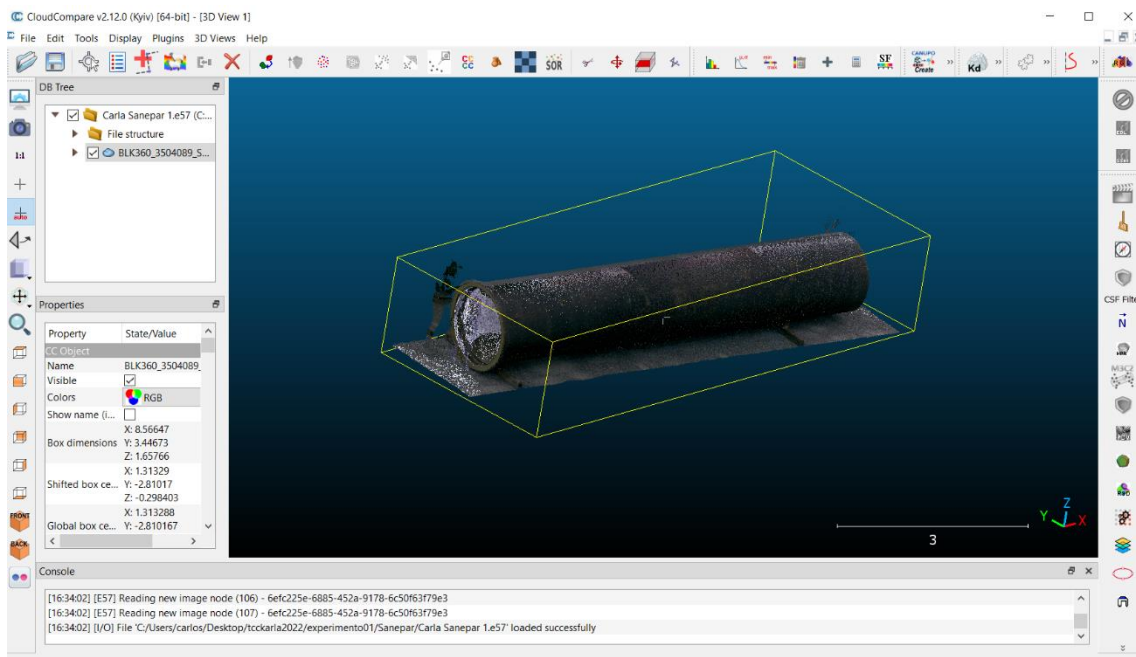
FONTE: A autora (2022).

O link 8 foi realizado com a cena no interior do tubo, não tendo ligação com as cenas externas.

5.5.2. RESULTADOS PARA O LEVANTAMENTO LASER SCANNER NO SOFTWARE CLOUDCOMPARE

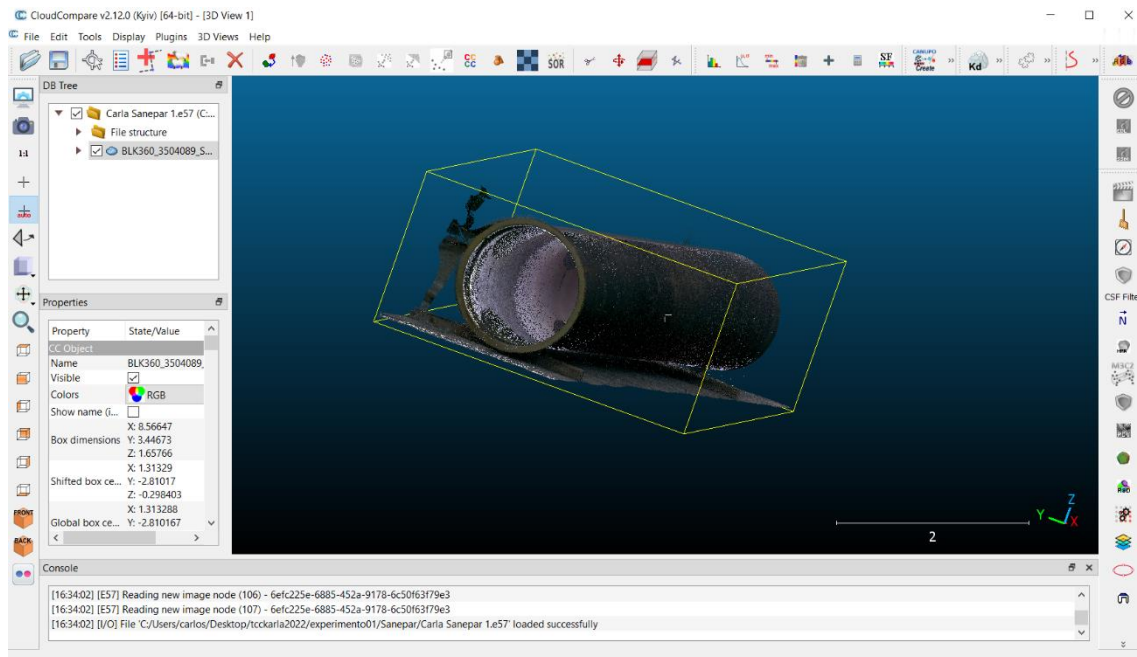
Primeiramente, o projeto exportado no formato .e57 gerado pelo Software Cyclone Register 360 já com a nuvem recortada apenas com a região de interesse de trabalho, no caso a tubulação DN1200 foi aberta pelo Software CloudCompare. Não foi necessário realizar o merge, pois todas as cenas já estavam registradas. As figuras 67 a 71 mostram a nuvem de pontos da tubulação DN1200 no software CloudCompare.

Figura 67 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare



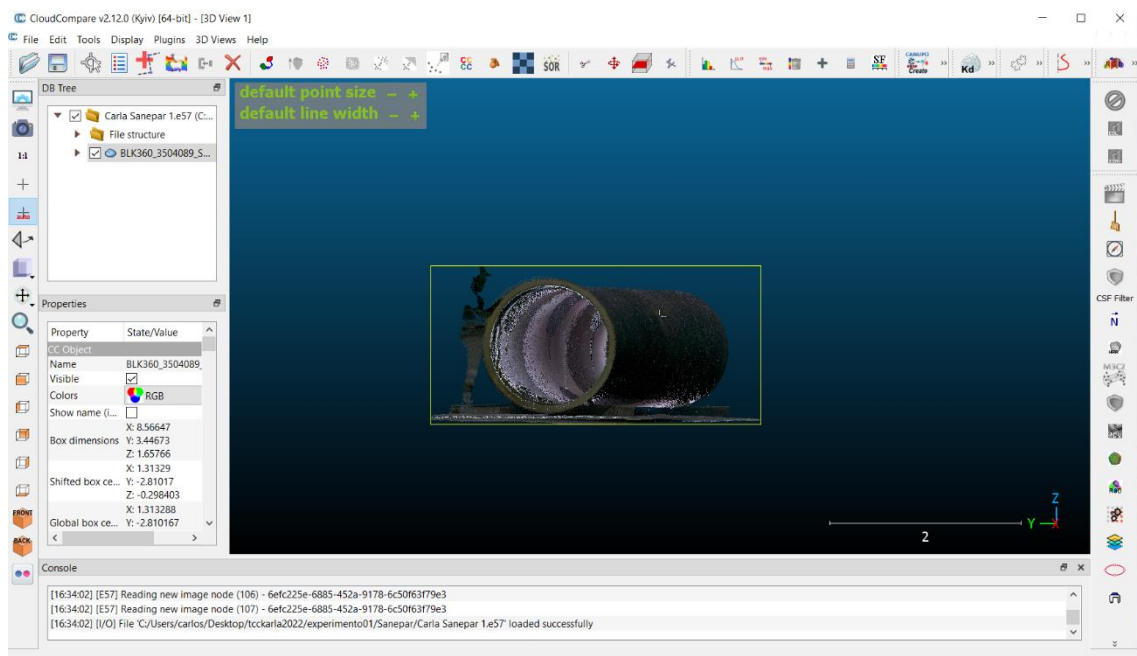
Fonte: A autora (2022).

Figura 68 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare



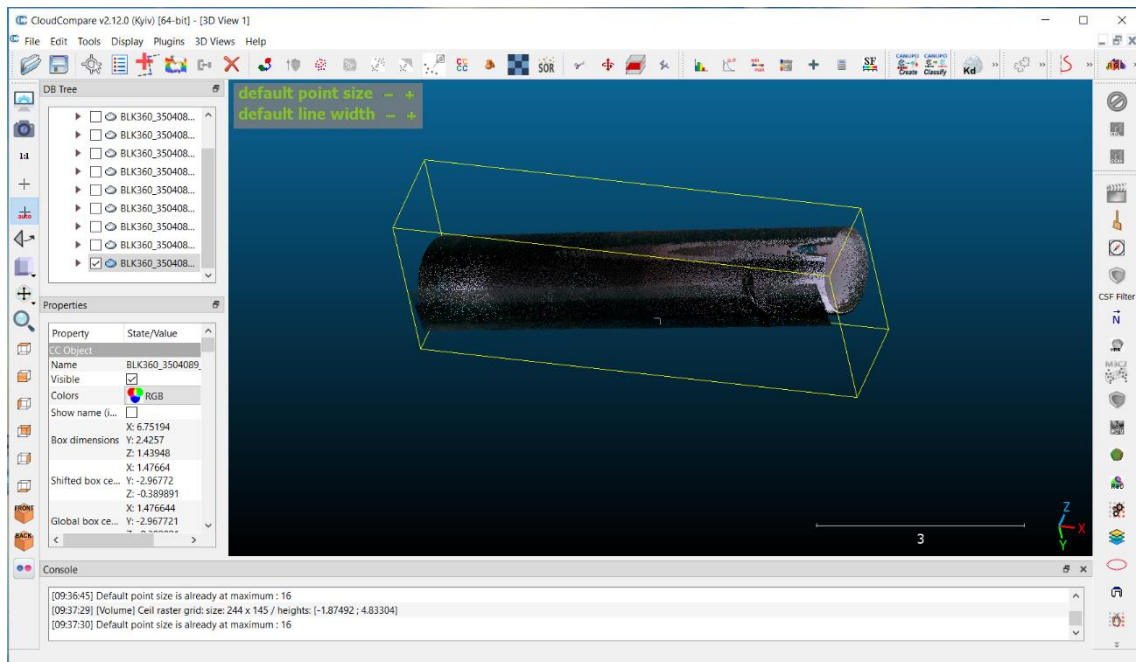
Fonte: A autora (2022).

Figura 69 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare



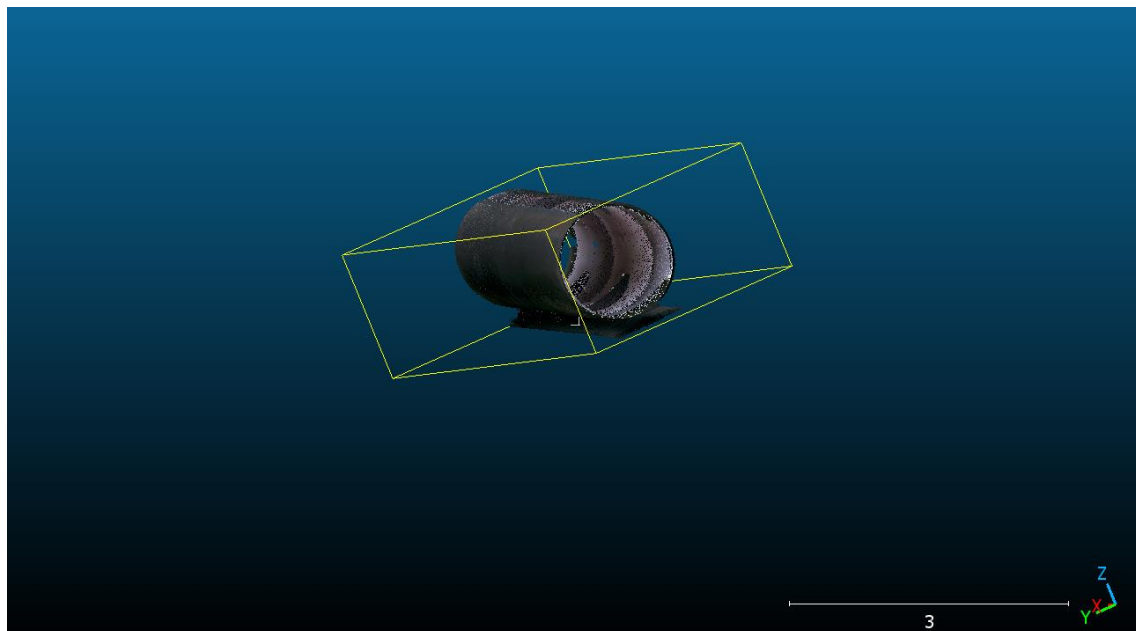
Fonte: A autora (2022).

Figura 70 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare



Fonte: A autora (2022).

Figura 71 - Nuvem de pontos reconstruindo a tubulação DN1200 no software CloudCompare

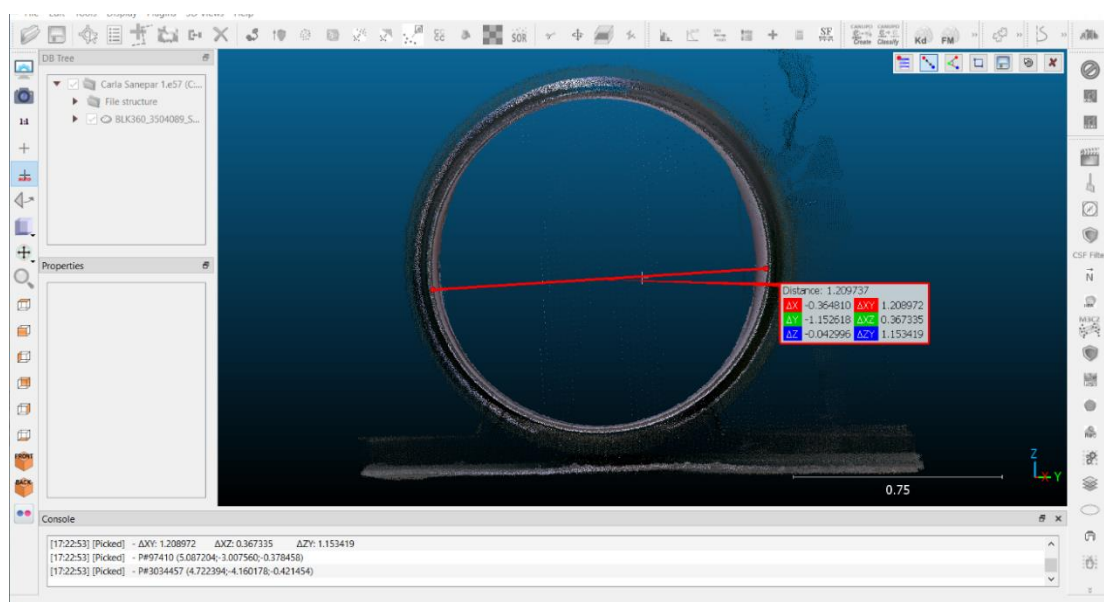


Fonte: A autora (2022).

Volume calculado pelo software com o uso da nuvem de pontos, porém não conseguiu retirar-se os apoios e a superfície, então obteve-se um erro no volume com o software.

Então, calculou-se o volume através de uma metodologia alternativa, utilizando a ferramenta *distance*, presente no software *CloudCompare* (Figura 72), mensurou-se a distância entre dois pontos, atribuindo-se assim o diâmetro da tubulação.

Figura 72 - Distância entre dois pontos na tubulação DN1200 na nuvem de pontos no software



Fonte: A autora (2022).

Com o Auxílio do Software Microsoft Excel criou-se uma tabela e efetuaram-se cálculos de volume para a tubulação DN1200 com os dados Laser Scanner disponíveis. Os resultados estão a seguir na tabela 52.

Tabela 52 - Cálculo do Volume com dados Laser Scanner - Ensaio SANEPAR

Diâmetro da Tubulação	1,240797 m
Raio	0,620399 m
Área calculada	1,209181 m ²
Volume Calculado	8,403809 m ³

FONTE: A autora (2022).

5.6. ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS PELAS METODOLOGIAS EMPREGADAS NOS EXPERIMENTOS NO ENSAIO NA SANEPAR

Os resultados obtidos pelas metodologias empregadas foram bastante satisfatórios, dentro da tolerância permitida pela Norma Técnica ISO 7507 -1 - 1993 e o valor do volume encontrado foi bastante próximo em ambos os métodos.

Tabela 53 - Resultados obtidos pelo Ensaio na SANEPAR

Método de Arqueamento – Volume Externo	8,60661 m ³
Método de Arqueamento – Volume Interno	8,16686 m ³
Método Laser Scanner – Volume Externo Calculado	8,403809 m ³

FONTE: A autora (2022).

6. CONCLUSÃO

Nesse estudo, pudemos desenvolver o Método de Arqueamento para calibragem de tanques cilíndricos, seguindo a Norma Técnica ISO 7507-1 - 1993 (*Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method*) e também Normas NBR vigentes que tornam o método de arqueamento complexo, trabalhoso, demorado e principalmente demanda uma mobilização de uma equipe de trabalho, o que acarreta em custos no processo, até mesmo quando trata-se de um modelo reduzido, como foi o caso dos dois ensaios tratados nesse trabalho.

Quando se necessita de uma equipe de mais de 3 pessoas para desenvolver uma metodologia em um modelo reduzido, imagina-se que para um tanque de petróleo, isso significa que o gasto envolvido para aplicar o método de arqueamento de calibragem de tanques cilíndricos verticais demanda uma equipe composta por um maior número de pessoas quando aplicado no modelo real, no caso de um tanque de petróleo. Porém, significa uma enorme economia, pois a calibragem é a forma mais sublime de se obter rendimentos na indústria petrolífera, não havendo assim desperdícios, pois quando sabe-se a capacidade volumétrica de um tanque de petróleo, pode estimar-se seu valor monetário, e isso é importantíssimo e relevante. Quando trata-se de transações comerciais do petróleo, pequenos desvios podem significar perdas significativas. E segundo a Norma vigente ISO 7507- 1 – 1993 o método indicado para calibração de tanques de petróleo é o método de arqueação como desenvolvido e proposto nesse trabalho.

Acerca dos resultados obtidos nesse trabalho, foram satisfatórios, o que significa que estavam dentro da Norma vigente ISO 7507 – 1 – 1993, dentro da tolerância mínima de $\pm 2\text{mm}$ em até 25 metros de medição circunferencial em ambos os ensaios, tanto no método de arqueamento de seções, quanto no método laser scanner na determinação volumétrica. Isso tornou os resultados dos ensaios dentro da Norma Técnica, apesar de metodologicamente adaptados. Observou-se também uma discrepância entre os resultados obtidos com a trena comparativamente ao realizado com o Laser Scanner. Neste caso é preciso ressaltar que a precisão do laser prescrita em seu manual é de 6mm, o

que acarretará numa diferença nos valores para diâmetro e volume. Numa situação como a deste trabalho com objetos de diâmetro pequeno comparativamente a tanques de armazenamento, esta diferença passa a ser significativa, porém em termos numéricos não passou de 2,36 por cento dos valores medidos com a trena.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INMETRO NIE-DIMEL-021; ISO - **7507-1 1993 (Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method)**. Switzerland – ISO, Rio de Janeiro – INMETRO, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10124**: Trena de Fita – Fibra natural ou sintética. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7560**: Tubo de ferro fundido dúctil centrifugado, com flanges roscados ou soldados – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14787**: Espaço Confinado – Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7665**: Sistemas para adução e distribuição de água – Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica – Requisitos. Rio de Janeiro, 1999.
- INMETRO. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – Portaria INMETRO nº 029 de 1995**. 5ª edição. Editora SENAI. Rio de Janeiro, 2007.
- NADAL, C.A. **Método da Interseção Óptica Tridimensional Aplicado À Engenharia de Precisão**. Curitiba. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2000.
- VEIGA, L.A.K.; ZANETTI, M.A.Z.; FAGGION, P.L. **Fundamentos De Topografia**. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 2012.
- ESPARTEL, L. Curso de Topografia. 9ª edição. Rio de Janeiro, Globo, 1987
- DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Laser scanner: Conceitos e Pr Funcionamento**. 3ª Edição. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 2004.
- NADAL, C.A. **Notas De Aula De Topografia Industrial**. Curitiba. Universidade federal do paraná, 2017.
- DIAS, J. L. De. M. **Medida Normalização e Qualidade - Aspectos da História da Metrologia no Brasil**. INMETRO. Rio de Janeiro, 1998.
- SANTOS JR., M.J. Dos.; IRIGOYEN, E.R.C. **Metrologia Dimensional- Teoria e Pratica**. 2ª edição. Porto alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- RÉCHE, M. M. **Metrologia Legal no Brasil. Apresentação de Seminário Técnico de Metrologia**. INMETRO. Curitiba, 2008.

CHACON, I. T. **Princípios da Incerteza de Medição Aplicáveis a Metrologia Legal. Apresentação de Seminário Técnico de Metrologia.** INMETRO. Curitiba, 2008

IPEM- PR. **Apresentação de Seminário Técnico de Metrologia.** INMETRO. Curitiba, 2008

LAZARI, R. F. **Apresentação de Seminário Técnico de Metrologia Legal.** DIMEL/DIFLU. Curitiba, 2008

ALVES, M. L. **Terminologia. Apresentação de Seminário Técnico de Metrologia.** INMETRO. Curitiba. 2008

PAULI, E.A de.; ULIANA, F.S. **Mecânica – Metrologia: Apostila.** SENAI. Espírito Santo, 1996.

MOTTA, E.P.; MOTTA, H.P.; SILVA, K.V. Da.; CESAR, A.L.; LINK, W.; ARAÚJO, L.P. De. **Otimização Do Método Tradicional De Calibração De Trenas Através De Um Microscópio Digital.** CONEM. Maranhão, 2012.

WUTKE, J.D. **Métodos Para Avaliação De Um Sistema Laser Scanner Terrestre.** Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 2006.

DOS SANTOS, J.A.N.; DE REZENDE, R.A.; LAZARI, R.F. **Gestão De Arqueação De Tanques – Uma Nova Proposta.** Niterói. UFF, 2004.

RABELO, G. H. de S.; SILVA, L. G. G.; SILVA, E. P. **Execução De Levantamento Volumétrico Com Laser Scanner.** Anais do 2º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma, 2020.

OLIVEIRA, R.M. **Estudo Comparativo Entre Diversos Métodos De Arqueação De Tanques.** Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 2010.

TOMMASELLI, A. M. G. **Um Estudo Sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3D a Curta Distância.** GEODÉSIA Online –Revista da Comissão Brasileira de Geodésia, 2003.

<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/aceso-a-formacao/institucional/competencias>
Acesso em: 12 abr. 2022.

<https://www.guandalinibr.com/produto/laser-scanner-leica-blk360/> Acesso em:
13 abr. 2022.