

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR**

**RICARDO MENDES DE OLIVEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIVERSOS MÉTODOS DE  
ARQUEAÇÃO DE TANQUES**

**CURITIBA**

**2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR**

**RICARDO MENDES DE OLIVEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIVERSOS MÉTODOS DE  
ARQUEAÇÃO DE TANQUES**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Programa de Pós-Graduação  
da Universidade Federal de Curitiba para à  
obtenção do título de **Especialista em  
Metrologia Legal.**

**Orientador:** Prof °. Manolo Gipiela

**CURITIBA**

**2010**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela vida, bênção e proteção.

À minha família por todo apoio e confiança.

Ao professor Manolo Gipiela, pela orientação, apoio e incentivo.

Aos amigos e colegas Paulo Delgado, Jair, Marilice, Joel Franceschini, Anilson e Gilmar Scopel pela amizade, companheirismo e pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos amigos de pós-graduação Gustavo Yamanishi, Fabrício Negrão, Murilo Contador e Eliésley Gorríz, pela amizade, companheirismo e colaboração recebida durante o curso. E aos demais colegas que de uma forma contribuíram no desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários do IPEM Joselita, Cida e Júlia pela ajuda e amizade.

Aos tutores e professores da Universidade Federal do Paraná pelo incentivo, apoio e conhecimento.

Ao INMETRO, pelo auxílio financeiro.

## RESUMO

A metrologia é definida como a ciência da medição. Medir e estabelecer padrões de medição estão entre as mais antigas necessidades da vida civilizada. A metrologia legal tem por base uma regulamentação nacional ou internacional, que torna obrigatórias técnicas e procedimentos metrológicos na verificação da conformidade do instrumento de medida com o regulamento específico. A metrologia industrial é aplicada em equipamentos que passem por processos de validação periódica, sejam estas calibrações ou ajustes, para a realização de medições confiáveis. Pode-se dessa maneira conhecer a capacidade de um instrumento no controle e medição de um processo. Assegura-se assim a fabricação de produtos com qualidade em processos dependentes de medições confiáveis.

A atividade de medir a capacidade volumétrica de reservatórios (tanques, silos e embarcações) utilizados para armazenamento de produtos a granel é conhecida, nos meios técnicos da metrologia, como arqueação. O objetivo é fazer um estudo comparativo entre os diversos métodos de arqueação, assegurar a confiabilidade metrológica nas medições fiscais, custódia de produtos e para o controle de estoques das empresas. Os principais clientes desse tipo de serviço são as refinarias e distribuidoras de petróleo, usinas de álcool, moinhos de grãos, empresas do segmento de sucos e companhias de gás.

Palavras-chave: Arqueação, Confiabilidade Metrológica.

## **ABSTRACT**

Metrology is defined as the science of measurement. Measure and establish measurement standards are among the oldest needs of civilized life. The legal metrology is based on a national or international regulations, which makes compulsory metrological techniques and procedures for compliance testing of the measuring instrument with the specific regulation. Metrology is applied in industrial equipment passing through validation procedures periodically, whether calibrations or adjustments to perform reliable measurements. One can thus know the capacity of an instrument control and measurement of a process. This will ensure the production of quality products in processes dependent on reliable measurements. The activity measuring the volumetric capacity of reservoirs (tanks, silos and vessels) used for storage of bulk commodities is known among specialists in metrology, as tonnage. The goal is to make a comparative study between the various methods of tonnage, ensure reliability in metrology measurements fiscal and custody products for inventory control of companies. The main customers of this service are the refineries and oil distribution companies, ethanol plants, grain mills, companies in the juice segment and gas companies.

Keywords: Tonnage, Metrological Reliability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – .....	05
Figura 2 – .....	06
Figura 3 – .....	07
Figura 4 – .....	09
Figura 5 – .....	10
Figura 6 – .....	11
Figura 7 – .....	16
Figura 8 – Técnica da fita métrica (a).....	21
Figura 9 – Técnica da fita métrica (b).....	21
Figura 10 – Técnica da fita métrica (Leitura da circunferência) – Trena topográfica.....	22
Figura 11 – Técnica da fita métrica (Medidas externas) – Altura de referência.....	22
Figura 12 – Técnica da fita métrica (Medidas internas) – Estruturas internas e topografia do fundo.....	23
Figura 13 – Mangueira de nível.....	24
Figura 14 – Corda.....	24
Figura 15 – Trena de profundidade.....	24
Figura 16 – Trena topográfica.....	24
Figura 17 – Desenho esquemático mostrando medidas de offsets através do procedimento ótico ORLM.....	26
Figura 18 – Mangueira de nível.....	26
Figura 19 – Corda.....	26
Figura 20 – Trena de profundidade.....	27
Figura 21 – Trena topográfica.....	27
Figura 22 – Estação total (Teodolito).....	27
Figura 23 – Estações de teodolitos e projeção de tangentes em diferentes níveis.....	28
Figura 24 – Esquemático do sistema utilizado para medição.....	30

Figura 25 – Visualização de todo o sistema plotado em 3D.....	34
Figura 26 – 1º Anel.....	35
Figura 27 – 2º Anel.....	36
Figura 28 – 3º Anel.....	36
Figura 29 – 4º Anel.....	37
Figura 30 – 5º Anel.....	37
Figura 31 – Distâncias e ângulos medidos no primeiro anel do tanque – Método das Tangentes.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões do tanque.....	29
Tabela 2 - Coordenadas obtidas nas medições dos cinco anéis em campo.....	33
Tabela 3 – Coordenadas nos pontos de medição (Estações).....	34
Tabela 4 – Comparação de resultados – Trena x Coordenadas.....	38
Tabela 5 – Comparação dos resultados filtrados por “Curva Gaussiana” ..	38
Tabela 6 – Comparação de resultados – Trena x Tangentes.....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
1.1 OBJETIVOS.....	04
1.1.1 Objetivo geral.....	04
1.1.2 Objetivos específicos.....	04
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	05
2.2 Breve Histórico da Metrologia.....	05
2.2.1 As Medidas .....	05
2.2.2 Os Padrões.....	10
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	19
3.1 Diversos Métodos de Arqueação de Tanques.....	20
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	29
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	40
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

Com a criação da Petrobrás em 1953, e a necessidade de se importar petróleo líquido para o processo de refino, automaticamente cresceu a demanda do serviço de arqueação de tanques, incrementou-se também, o número de tanques para armazenamento e transporte dos derivados dele advindos. Com a falta de pessoal especializado quantitativamente e qualitativamente, e pela inexistência de um programa específico de treinamento, ou de um curso regular acreditado para a adequação, qualificação e certificação de pessoal; Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro, buscou nos países desenvolvidos esta formação técnica, a exemplo de tantas outras atividades e, compôs as principais equipes com um metrologista - chefe da equipe operando como multiplicador, e assim, repassando na prática o conhecimento adquirido (conhecimento tácito) e o conhecimento teórico ou intrínseco, e um segundo metrologista da equipe, para que juntos executassem o serviço necessário. Por questões funcionais, o Inmetro obrigava-se a regularizar a situação deste corpo técnico que, na realidade, não apresentava o nivelamento e igualdade na proficiência das medições e dos cálculos dos diversos tipos de tanques arqueados.

Estudiosos como Ikujiro Nonaka identificam duas formas básicas de conhecimento: conhecimento tácito e explícito. Conhecimento tácito abrange o que as pessoas sabem, mas não conseguem expressar prontamente. Elas o transmitem por meio de ações, símbolos, analogias, metáforas e outras representações cognitivas. Conhecimento explícito ou codificado é aquele que as pessoas criam e transmitem mediante a linguagem formal, sistemática.

A globalização da economia impactou significativamente o movimento de abertura da economia do Brasil, que se viu obrigado a revisar sua política de recursos humanos, a adoção de programas de privatização, houve a queda de barreiras tarifárias com a extinção do General Agreement for Trade and Tarifs –

GATT; e a desregulamentação setorial, dentre os quais o grande mercado produtor, extrativista e transformador do petróleo. Ao mesmo tempo houve uma grande preocupação do governo com as medições, pois, fundamentado nelas seriam estabelecidos os pagamentos dos *royalties* aos Estados, Municípios e demais produtores. Como a metrologia legal é responsável pelas atividades relacionadas às unidades de medida, métodos de medição e instrumentos de medição, relativas às exigências técnicas e legais obrigatórias, com o objetivo de garantir publicamente a segurança, a exatidão das medições e a concorrência legítima, dentre outros. No campo econômico o objetivo principal é proteger o comprador e o vendedor. Sendo assim temos que nos referenciar a Resolução do Conselho Nacional de Metrologia - Conmetro nº 11, de 12 de outubro de 1988, capítulo III, subitem 8, que estabelece as diretrizes para o efetivo controle metrológico dos instrumentos de medição e das medidas materializadas.

A Organização Internacional de Metrologia Legal – OIML, é a organização internacional que tem por objetivo promover a harmonização global dos requerimentos da metrologia legal. Para evitar contradições entre a normalização voluntária e as recomendações internacionais e na sua extensão, dos regulamentos técnicos, estabelecem-se acordos de cooperação entre associações como a International Organization for Standardization - ISO, a International Electrotechnical Commission - IEC e outras.

A ISO é uma organização não governamental sem fins lucrativos, com sede em Genebra, na Suíça, cujo objetivo é promover o desenvolvimento de normas nos diversos ramos da atividade humana e atividades afins em âmbito mundial, procurando facilitar a troca de bens de consumo e serviços, e desenvolver atividades de cooperação nos campos intelectual, científico, tecnológico e econômico.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, fundada em 1940, é a organização responsável pela normalização técnica dita voluntária,

sendo membro fundador da ISO em 1947, atualmente sócia da ISO na categoria participante, é o fórum nacional de normalização, e promove a edição de normas nos diversos ramos da atividade econômico/industrial brasileira.

O Inmetro regulamenta, gerencia, supervisiona e executa as atividades de metrologia, legal e científica e da qualidade, através do seu pessoal e da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – RBMLQ - Inmetro, executando verificações metrológicas de instrumentos de medição, medidas materializadas. A Rede é composta pelos Órgãos Metrológicos Estaduais conveniados (IPEMs). A elaboração da regulamentação se baseia nas recomendações da OIML à qual estamos filiados, somos o único país na América do Sul filiado a ela; e trabalhamos em harmonia com centenas de outros países do mundo; e atuamos em colaboração com fabricantes, com entidades de classe e entidades representativas dos consumidores.

A Arqueação de Tanques no Brasil é uma atividade regulamentada como as demais da Metrologia Legal. O Inmetro, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, vem prestando estes serviços à sociedade, utilizando-se da metodologia herdada e repassada internamente entre os técnicos envolvidos com a atividade. Com o advento das filosofias da Qualidade e a nova lei do petróleo, e outros agentes motivadores, se faz necessário rever alguns aspectos gerenciais e operacionais desta área. Buscou-se estudar e analisar as prescrições normativas de organizações representativas no mundo, assim como novas tecnologias disponíveis e preconizadas nas normas.

Fez-se aplicação prática em tanques, bem como as tabelas volumétricas e os certificados de arqueação. Entrevistou-se especialistas em metrologia, procurando encontrar a melhor metodologia para incrementar a capacidade de atendimento do sistema Inmetro; e isto significa utilizar as prescrições normativas mais adequadas ao nosso país, trabalhando harmonicamente com nossos parceiros comerciais.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Fazer um estudo comparativo entre os diversos métodos de arqueação de tanques, visando a aplicabilidade, relação custo benefício, margens de erro associados e assegurar a confiabilidade metrológica da armazenagem de combustíveis, produtos químicos e petroquímicos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Estudar os diversos métodos de arqueação de tanques, dentre os quais:

- Método por Trenas (ISO 7507-1);
- Método por Triangulação Óptica (ISO 7507-3);
- Método da determinação de distâncias/coordenadas por medição eletro-óptica externa (ISO 7507-5).

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Breve Histórico da Metrologia

#### 2.1.1 As Medidas

TEMPO - O sol foi por muito tempo usado pelo homem como um relógio simples, desde que não estivesse temporariamente encoberto por nuvens. A hora era estimada por meio do comprimento da sombra e a duração do tempo pelo aumento ou diminuição dessa sombra (Figura 1). Como anteparo para produzir sombra, o homem utilizava um objeto de comprimento estipulado, como por exemplo no Egito, uma vara de aproximadamente 50 cm. Durante milênios o relógio do sol, com inúmeras formas de execução, foi o medidor de tempo mais utilizado.

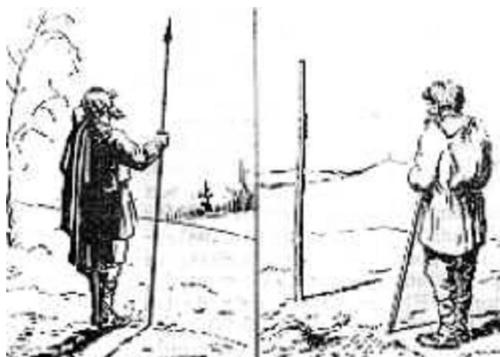


Figura 1

Para o período da noite, no Egito antigo, usava-se o relógio de entrada e saída de água. Do nível correspondente de água obtinha-se o tempo. O mais antigo relógio de água conhecido origina-se do tempo de Amenofis III, em 1 400 a.C. Na Idade Média apareceu o sucessor do relógio de água, o relógio de areia, que era mais fácil de ser transportado. Villard de Honnecourt fez, em 1 250, a primeira experiência para construir um relógio com engrenagens. Surgiram inicialmente os relógios de peso e, a partir do século XIV em diante, os relógios de

mola. Peter Henlein conseguiu reduzir, em 1510, o tamanho do relógio para o formato de bolso. Somente no início do século XIX a eletricidade foi usada como propulsora de relógios. Atualmente a unidade de tempo adotada internacionalmente e também no Brasil é o segundo, cuja definição é:

"O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos de radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de Césio 133".

MASSA - Nos túmulos do antigo Egito encontram-se balanças de braços iguais que visavam “pesar” os pecados e as boas ações. Também as balanças de um só braço, com peso deslizante, já eram conhecidas no Egito há cerca de 1 000 anos antes de Cristo, muito tempo antes que Arquimedes de Siracusa, no século III a.C., tornou conhecida a lei da alavanca (Figura 2).

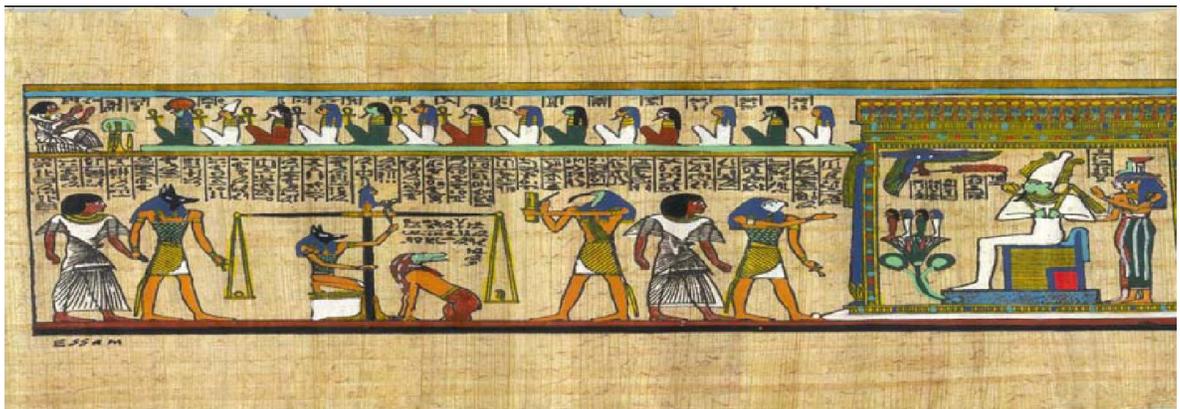


Figura 2

PRESSÃO - Um discípulo de Galileu, Evangelista Torricelli, descobriu em 1643, que o ar exercia uma pressão sobre todos os objetos e construiu, baseado em suas observações, o primeiro barômetro de mercúrio. O experimento de Torricelli consistia em preencher com mercúrio um tubo de vidro de 2 braccia ou cerca de 115 cm de altura, aberto em uma extremidade. O tubo era então virado de cabeça para baixo e a extremidade aberta era mantida fechada com o auxílio

de um dedo. O tubo era então colocado na posição vertical dentro de um recipiente cheio de mercúrio (Figura 3). Quando o dedo era removido da extremidade aberta do tubo, a coluna de mercúrio descia, sempre parando na altura de 1 1/4 braccia ou cerca de 72 cm. Esse fenômeno evidenciou que a pressão atmosférica oferecia resistência à descida da coluna de mercúrio contido no recipiente. Torricelli observou que a altura da coluna de mercúrio variava com variações na temperatura. Assumiu também que havia formação de vácuo no tubo depois da descida do mercúrio.



Figura 3

TEMPERATURA - O médico italiano Santorre Santoria construiu, em 1611, um termoscópio semelhante ao que já era conhecido por Filon de Bizâncio, 200 anos antes de Cristo. Meio século mais tarde, este termoscópio foi aperfeiçoado pela "Accademia del Cimento", resultando em um termômetro.

O termômetro é um equipamento usado para medir temperaturas. O nome é composto de duas pequenas palavras: "Termo" significando calor e "metro" significando medição. O termômetro pode ser usado para determinar a temperatura fora ou dentro de sua casa, dentro de seu forno e até mesmo a temperatura de seu corpo se você estiver doente. Quando se observa a um

termômetro de bulbo, percebe-se uma fina coluna de líquido avermelhada ou prateada que cresce quando a temperatura aumenta e decresce quando ela diminui. Algumas vezes esse líquido poder ser algum álcool colorido mas também pode ser um metal líquido chamado mercúrio. Ambos se dilatam quando aquecidos e se contraem quando resfriados. Dentro do tubo de vidro do termômetro o líquido não tem para onde ir senão subir se a temperatura aumentar ou descer se a temperatura decair. Números são dispostos ao lado do tubo de vidro que servem para determinar a temperatura naquela escala e naquele ponto.

Um dos primeiros inventores do termômetro foi Galileu, mais conhecido por seus estudos sobre o sistema solar e sua teoria revolucionária, na época, de que a Terra e os planetas giravam ao redor do Sol. Os termômetros usados atualmente são bem diferentes do que o que Galileu possa ter utilizado. Existe geralmente um bulbo na base do termômetro e um longo tubo de vidro sai na vertical (Figura 4). Os primeiros termômetros usavam água, mas por causa das características desse material não era possível medir temperaturas abaixo de seu ponto de congelamento. O álcool então passou a ser usado, com ponto de congelamento abaixo do ponto da água.

A linha avermelhada ou prateada no termômetro move para cima ou para baixo dependendo da temperatura. O termômetro mede temperaturas em graus Fahrenheit, Celsius ou em uma outra escala chamada Kelvin, essa mais usada por cientistas. A escala Fahrenheit é usada principalmente nos Estados Unidos. No restante do mundo é utilizada a escala Celsius. A escala Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), mostrada ao lado esquerdo da figura 18, tem esse nome em homenagem ao físico germânico Gabriel D. Fahrenheit (1686-1736), que desenvolveu sua escala no ano de 1724. A água congela a  $32^{\circ}\text{F}$  e ferve a  $212^{\circ}\text{F}$ . Ele, arbitrariamente, decidiu que a diferença entre o ponto de ebulição e de congelamento da água deveria ser de  $180^{\circ}\text{F}$ .

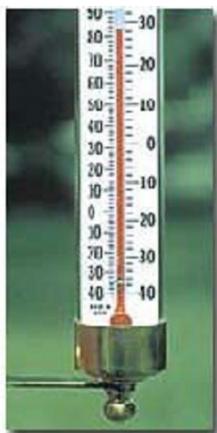


Figura 4

A escala Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), mostrada ao lado direito da figura 4, homenageia Anders Celsius (1701-1744). O grau Celsius às vezes é chamado erroneamente de grau centígrado. Anders Celsius desenvolveu sua escala em 1742 falecendo dois anos depois com 42 anos de idade, vítima de tuberculose. Ele começou com o ponto de congelamento da água e definiu que esse ponto seria equivalente a  $0^{\circ}\text{C}$ . No ponto em que a água fervia ele marcou o equivalente a  $100^{\circ}\text{C}$ . Essa escala é muito mais científica porque as medições são divididas em partes de 100 o que a torna similar ao sistema métrico.

A escala Kelvin (K) é uma homenagem ao Lord Kelvin, cujo nome inteiro era Sir William Thomson, Baron Kelvin of Largs, Lord Kelvin of Scotland. Lord Kelvin levou a idéia da temperatura um passo adiante com a invenção da escala Kelvin em 1848. A escala Kelvin mede a temperatura mais fria que pode existir. Ele afirmava que não há limite para quão quente a temperatura pode alcançar, mas que existia um limite para o quão fria ela pode chegar. Kelvin desenvolveu então a idéia do Zero Absoluto. Sua escala começa nesse zero,  $0\text{ K}$  que equivale a  $-273,15^{\circ}\text{C}$  ou  $-459,67^{\circ}\text{F}$ .

Nessa temperatura tudo incluindo o movimento dos elétrons em um átomo pára completamente. Até o momento cientistas afirmam que não há nada no universo que chegue a atingir a temperatura absoluta de  $0\text{ K}$ .

### 2.1.2 Os padrões

A origem dos padrões está associada ao começo da cultura humana. Nos tempos mais antigos a vida em comunidade era governada por costumes e regras comuns, administrados pelo chefe do grupo, dando origem assim ao primeiro padrão de vida - a família. Esses grupos usavam os mesmos símbolos escritos e fonéticos, roupas e abrigos comuns, tinham a mesma religião, as mesmas leis e as mesmas divisões de tempo.

Em um dado momento da história observa-se a existência de uma unidade de comprimento chamada côvado ordinário, com dimensão de 450 mm. As supostas dimensões da Arca de Noé, como citadas na Bíblia, eram de aproximadamente 300 côvados de comprimento, 50 de largura e 30 de altura (Figura 5).

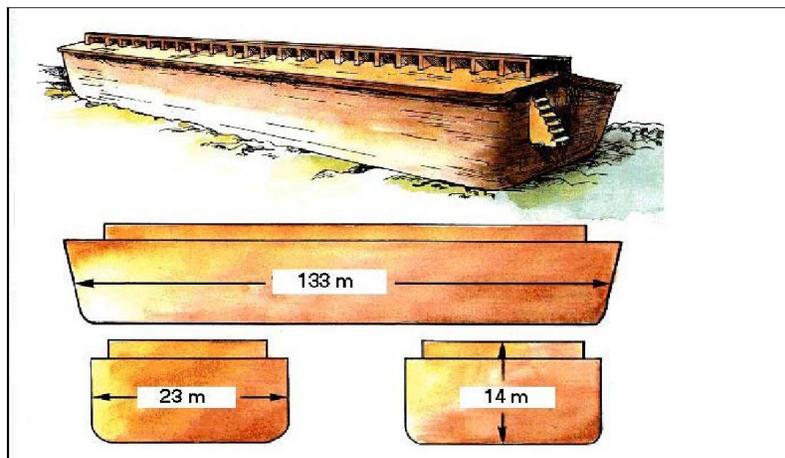


Figura 5

Os mais antigos padrões de peso foram achados nos túmulos de AMRAH e datam da segunda metade do IV Milênio a.C. Eram constituídos por pequenos cilindros de base côncava, com cerca de 13 gramas.

Os sistemas de pesos e medidas dos egípcios passaram para a Judéia e Grécia e, com algumas modificações, estenderam-se à Itália onde foram adotados pelos romanos e, subseqüentemente, por todas as nações européias.

Já em 3 900 a.C., os egípcios utilizavam um padrão de comprimento de granito denominado cúbito que era equivalente ao antebraço do faraó Khufu com 523 mm de comprimento. Baseados nesse padrão eram construídos padrões que seriam utilizados pelos trabalhadores (Figura 6). Este padrão foi muito eficiente pois garantiu bases para as pirâmides quase que perfeitamente quadradas pois o comprimento de seus lados não variavam mais que 0,05% de seu valor médio que era de 228,6 metros.

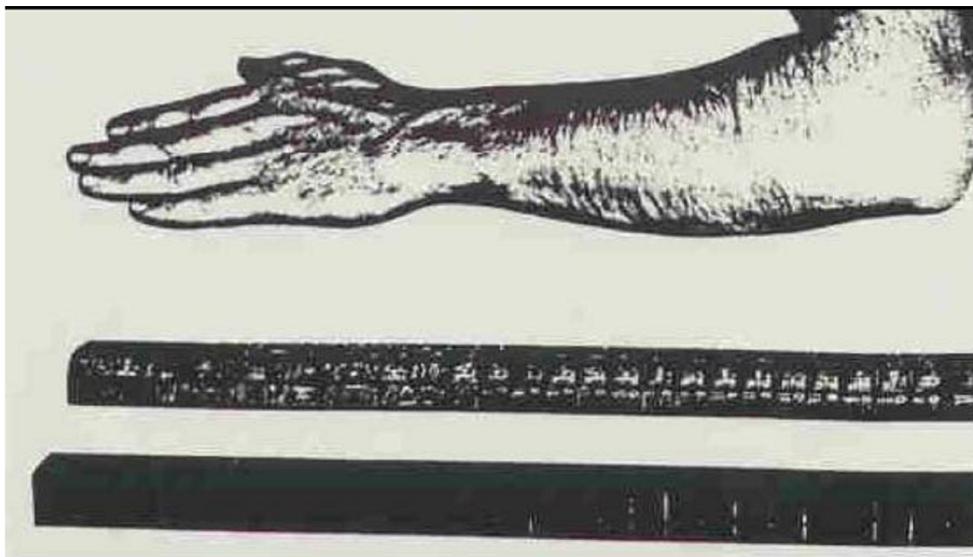


Figura 6

No ano 300 a.C., os gregos mediram todo seu litoral usando uma corda cheia de nós que flutuava na água. Atenas tinha quatro padrões. O primeiro era conservado no santuário do Herve Stéphanéphoro, ao lado do Atelier Monetário. O segundo na cidade e à disposição do público, o terceiro em Pireu e o quarto em Eleusis. As cidades importantes possuíam organização semelhante, e os

magistrados encarregados da guarda do que denominavam Metron ou seja “medida”, recebiam o título de Metronomos ou Agoranomos.

Em Roma, essas medidas se chamavam Mensura Capitulina. A partir de Constantino, as medidas de peso foram denominadas de Exagium. Os padrões eram depositados nos templos de Júpiter Capitulino e de Castor, sob a guarda de Edis. Constantino, mais tarde, ordenou ficarem os mesmos sob custódia no templo principal de cada cidade, onde deveriam ser conferidas as respectivas cópias. O supervisor da fiscalização nomeado era um delegado imperial, fato que visava evitar fraudes das quais a plebe muito reclamava. Na Idade Média encontrava-se muita diversidade e desordem. Na França, no reinado de Dagoberto I (622 - 628), os padrões eram conservados no próprio Palácio Real. Carlos Magno (742 - 814) preocupou-se com a uniformidade das unidades de medida, legislou e recomendou a introdução da libra por volta do ano de 789.

No ano de 1300, o rei Eduardo I, regulou o sistema Avoir-Dupois, palavra francesa que quer dizer "bens de peso", para uso no comércio. Em 1305 o rei Eduardo I decretou que fosse considerada como uma polegada a medida de três grãos secos de cevada, colocados lado a lado. Os sapateiros ingleses aprovaram a idéia e passaram a fabricar, pela primeira vez na Europa, sapatos com tamanhos padrão baseados nessa unidade. Dessa maneira, um calçado medindo quarenta grãos de cevada passou a ser conhecido como tamanho 40 e assim por diante. No início do século XII, Henrique I, da Inglaterra, fixou o valor da jarda, a unidade em uso na época, como igual à distância entre seu nariz e o polegar de seu braço. Ao final do século XII, Ricardo I fez a primeira lei criando padrões de comprimento e de capacidade. As unidades fundamentais do sistema britânico eram a “Imperial Standard Yard” e a “Imperial Standard Pound”, ou em português a "Jarda Imperial" e a "Libra Imperial". Construídos em 1758, os padrões primitivos foram destruídos por um incêndio que, em 1834, arrasou a casa do Parlamento Inglês.

Na França, com base em medições feitas pelos astrônomos Delambre e Mechain, um grupo de cientistas construiu, em 1799, os padrões do metro (barras de platina pura de seção retangular com 25,3 mm de largura e 4 mm de espessura equivalente a  $\frac{1}{10\,000\,000}$  da distância do Pólo Norte à linha do Equador, medido ao longo do meridiano que passava pelo Observatório de Paris) e do quilograma (cilindro de platina com diâmetro igual a altura com o peso de  $1\text{ dm}^3$  de água pura na temperatura de  $4,44^\circ\text{C}$ ) depositados nos Archives de France.

Foram confeccionados três exemplares do metro padrão em platina pura. O metro protótipo foi conservado nos Archives de France. As duas cópias foram relocadas para o Conservatoire des Arts et Métiers e para o Observatoire de Paris. Em 1812 dois decretos do Imperador Napoleão I deram início a aplicação do sistema métrico decimal. A Lei de 4 de Julho de 1837 tornou obrigatório o sistema métrico decimal na França. A partir de 1º de janeiro de 1840 foi recomendado que uma ordem real regulasse o processo de verificação.

A Associação Geodésica constituída em Berlim, que continha representantes da maior parte dos Estados Europeus, pronunciou-se sobre a conveniência da criação de um Bureau Internacional de Pesos e Medidas, recomendando aos delegados junto à governos de seus países que opinassem favoravelmente a respeito. Por convocação do Imperador Napoleão III reuniu-se, em Paris em 8 de agosto de 1870, a Primeira Comissão Internacional do Metro. A Conferência Diplomática do Metro realizada em Paris no dia 01 de março de 1875, sob a presidência do Duque de Decazes, Ministro de Negócios Estrangeiros de França, contou com a participação de 20 nações. Pela primeira vez o Brasil fez-se presente com o representante Visconde de Itajubá. Nessa conferência, estabeleceu-se em uma convenção geral, a criação do Bureau International des Poids et Mesures-BIPM, científico e permanente, com sede em Paris. Em 1960, com revisões e simplificações da Convenção Internacional do Metro, criou-se o Sistema Internacional de Unidades - SI.

As embalagens, inicialmente necessárias para armazenar e transportar pequenas quantidades de produtos hoje se caracterizam como sofisticados artefatos tecnológicos, de dimensões variadas, nos quais tem-se a contribuição de vários ramos das ciências e engenharias, seja pela diversidade de materiais empregados como também nas técnicas empregadas em sua construção.

É importante você saber que diferentes metais e suas ligas, polímeros e seus compósitos, além de sofisticados processos de montagem e soldagem são hoje aplicados. Ainda, face à necessidade sempre crescente de quantificar com maior grau de precisão seu conteúdo faz-se necessário o emprego de técnicas cada vez mais acuradas, aplicadas nos processos de medição e também o uso de especiais instrumentos de medida. Responsáveis pelo transporte e armazenamento de riquezas presentes na maioria das atividades de produção desenvolvidas pelo homem, este indispensável componente tem evoluído bastante ao longo dos anos.

Desde os tempos remotos, a necessidade de conservar ou transportar alimentos fez com que o homem procurasse, ainda que de forma improvisada, adequar utensílios como forma de acomodar aqueles gêneros que garantiam seu sustento. Surgiram assim as primeiras embalagens. Pode-se assim dizer que o desenvolvimento da sociedade tem relações diretas com a presença destes objetos.

A exploração de novas terras exigia que alimentos, ou qualquer tipo de suprimento fossem estocados e transportados para atender assim a necessidade daqueles viajantes durante as grandes jornadas. Fossem os alimentos, salgados, cozidos, ou em grãos, a necessidade de acomodação era uma constante já naqueles tempos. Os alimentos, caças, frutos, até mesmo água, ainda que obtidos ao longo das travessias, nem sempre era garantido encontrá-los a disposição durante as longas distâncias percorridas, daí a necessidade de conservá-los para atender as ocasiões de sua total ausência ou mesmo escassez.

A grande diversidade de gêneros descortinados ao longo de suas andanças, por aqueles ancestrais viajantes conduziu conseqüentemente ao surgimento das trocas e posteriormente ao comércio entre as diferentes comunidades.

Novas rotas surgiam o que acarretava não só em uma crescente demanda para os novos itens como também um grande intercâmbio de culturas e aprendizados. À medida que a distância entre as civilizações aumentava, maior se tornava também a necessidade de melhor proteção para que aqueles produtos resistissem ao transporte por um maior período de tempo. O comércio globalizado teve início acelerado com as naus que permitiam transporte em maior escala. Em conseqüência, a aventura por novas rotas marítimas permitiram alavancar ainda mais este processo.

O desenvolvimento tecnológico no que se refere às embalagens, ainda que não tenha ocorrido na mesma velocidade em que as fronteiras ficavam literalmente mais próximas, aos poucos acrescentava melhoramentos, não só no desenvolvimento de novas formas de embalar mas também de conservação dos produtos estocados. O emprego de salga, cozimento ou frio e também a adição de conservantes foram paulatinamente incorporados ao conjunto de processos de preservação, associados também à introdução e uso de novos materiais empregados na construção das embalagens.

Dos primeiros materiais empregados em embalagens, o barro reinou por milhares de anos. Anterior a estes utensílios, na pré historia, nossos ancestrais usavam folhas de plantas onde os alimentos como carne eram embrulhados. Cestos, fabricados com galhos ou raízes de árvores, assim como pedaços de troncos, cascas de certos frutos também foram empregados naqueles tempos. Contudo, com a descoberta do fogo, os artefatos de barro puderam ser construídos na forma de recipientes com dimensões maiores, bem definidas e

mais resistentes, além é claro, da facilidade da conformação, favorecendo assim formas mais adequadas para o transporte.

Exemplo destes vasilhames são as ânforas, que tiveram origem na Grécia. Nestes recipientes, produtos líquidos como azeites eram estocados, e/ou transportados para comercialização. As ânforas eram vasos de formato ovóide construídos em barro ou terracota com duas asas simétricas, terminados geralmente, na parte inferior em uma ponta afunilada ou então em base de apoio plana e estreita.

Além de azeite estes recipientes também serviam para guarda ou transporte de muitos outros produtos líquidos como: água, salmoura ou vinho como faziam os gregos e romanos, ou mesmo mel, mas também produtos a granel como frutos secos, cereais ou peixe salgado. Algumas destas ânforas empregadas na antiguidade podem ser vistas na figura 7.

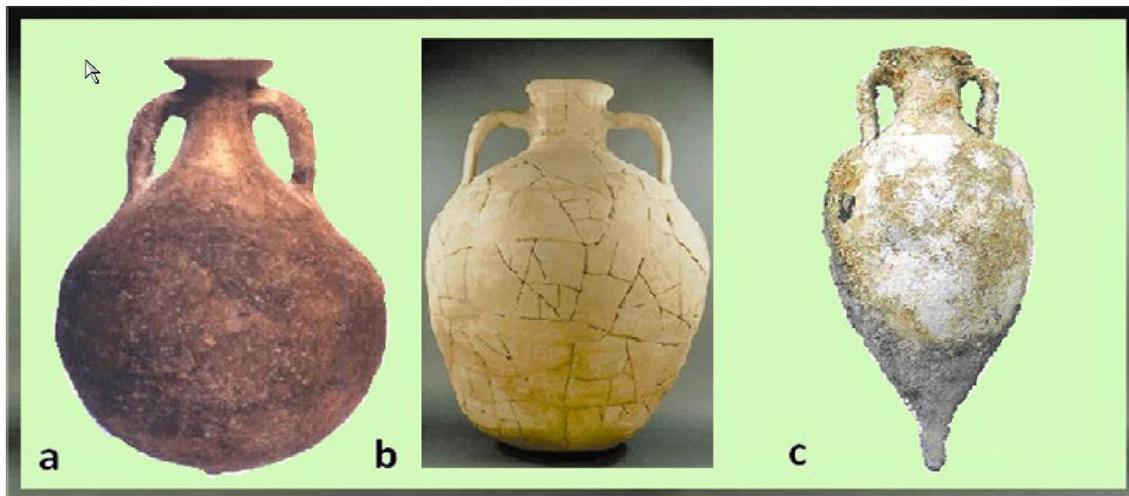


Figura 7

O vidro e a porcelana datam também de épocas remotas. Contudo, destes, vidro ainda perdura como material de construção de muitas embalagens, particularmente para acomodação de pequenos volumes. Porcelana por outro lado tem aplicações muito mais limitadas. Mais delicadas são empregadas com

frequência em peças pequenas e utensílios de mesa. A madeira, pela versatilidade de construção, também fez história nas embalagens, na fabricação caixas e confecção de barris para transporte de produtos líquidos. Ainda hoje se faz uso deste material.

Contudo, com o surgimento de novos materiais como polímeros sintéticos seu uso tem caído em declínio. Ficando sua aplicação hoje voltada à construção de paletes e caixas, que servem de embalagens finais para o transporte de equipamentos, peças e acessórios de máquinas e também de objetos frágeis, como louças, equipamentos eletrônicos entre outros. Nestas aplicações é comum inclusive a associação com papelão e filmes plásticos que servem para o acondicionamento primário.

Um grande salto, porém foi dado com o desenvolvimento de técnicas de processamento do vidro, mas mais particularmente dos metais. No que se refere às embalagens de grande dimensão, sem sombra de dúvidas as ligas metálicas, em particular aquelas contendo o ferro como principal elemento tem posição de destaque. Elementos como o alumínio e cobre, em maior proporção, ou então associados a outros metais modificadores de liga como; o níquel, o cromo, o cobalto, molibdênio entre outros, também tem seu papel relevante na elaboração de ligas especiais aplicadas na construção de tanques, neste caso, para estocagem e transporte de produtos químicos, materiais tóxicos, inflamáveis ou corrosivos.

Embalagens constituídas de polímeros como polietileno, polipropileno, poliéster, entre outros, reforçados ou não com fibra de vidro, ou mesmo empregados como revestimento também prestam seu papel nas embalagens, desde pequenos a grandes tanques. Um grande e diversificado número de reservatórios são hoje construídos para estocagem. Os tanques estacionários como os tanques de processo encontrados na indústria, tanques para transportes,

seja ferroviário, rodoviário e também de embarcações são exemplos destes artefatos.

Nos dias atuais milhões de toneladas de produtos são estocados ou transportados diariamente através dos mares, estradas, ferrovias até mesmo por aeronaves. Destes produtos, um grande número se encontra no estado líquido. Neste sentido, tanques de diferentes formas e capacidades são empregados para o transporte, comercialização ou estocagem.

O conhecimento preciso da quantidade de mercadoria contida nas embalagens é de crucial importância em todas as transações comerciais. O conhecimento da massa, seja, obtida por pesagens ou indiretamente, pela determinação do volume com base no conhecimento da densidade. São as operações de uso corrente. Logo, para aqueles produtos onde os faturamentos são efetuados por volume, o correto conhecimento deste parâmetro é de grande relevância.

Contudo, sem o preciso conhecimento das dimensões dos reservatórios onde se encontram os produtos de interesse não é possível mensurar de forma direta o volume. Assim, entra em cena o importante processo metrológico denominado arqueação.

Arqueação de tanques é a medição volumétrica dos tanques de armazenamento de combustível instalados em refinarias de petróleo e distribuidoras. Para fazer a arqueação, o Instituto de Pesos e Medidas dos Estados Brasileiros coleta todas as informações e medidas do tanque e, a partir delas, confecciona uma tabela volumétrica própria para o reservatório.

Após a confecção da tabela, será emitido um Certificado de Arqueamento para o tanque de armazenamento. Para que o tanque possa ser utilizado no processo de armazenagem de produtos derivados do petróleo e do álcool, é

obrigatória a sua certificação. A tabela volumétrica tem validade de dez anos. Caso o tanque sofra qualquer alteração em sua estrutura, a refinaria ou distribuidora deve solicitar ao IPEM uma nova medição, para a confecção de uma nova tabela.

Metrologia pode ser considerada um conjunto de metodologias visando prover confiança às medições, bem como desenvolver medições mais exatas e de validade e aceitação mais amplas. A metrologia lida com conhecimentos de várias disciplinas e envolve sistematização, documentação de informações, bem como uma rigorosa avaliação de incertezas de medição, visando dar o máximo de objetividade na sua função de agregar confiança e qualidade às medições.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia empregada consiste na elaboração de um cálculo dimensional e obtenção de uma tabela volumétrica. Primeiramente, os técnicos efetuam as medições geométricas dos tanques e, em seguida, os cálculos para geração da tabela volumétrica: uma tabela, a partir do ponto zero ou mesa de medição, fornecendo o volume do tanque em litros para cada centímetro de altura.

As tabelas volumétricas são ferramentas fundamentais para o controle quantitativo, para efeito fiscal e de custódia, dos produtos. Um estudo da Universidade Federal Fluminense, em parceria com o Inmetro, mostra bem a medida da importância desse instrumento: “as movimentações de produtos a granel, o processo de refino, recebimento e entrega de petróleo líquido e seus derivados são baseados nas quantidades dos produtos considerados, que são determinadas através da tabela volumétrica de cada tanque de armazenamento”.

O processo para se chegar à elaboração da tabela volumétrica é feito por meio de medições de comprimento dimensional e topografia ou cálculo do volume

contido no fundo do tanque. Para isso, o técnico utiliza trenas, medidores de espessura e outros instrumentos calibrados aos padrões do Inmetro, conformes com as normas da ISO.

Na inspeção, o técnico precisa entrar no tanque. Além de traçar a topografia, com auxílio de uma mangueira de nível ou nível a laser, extrai as medidas de toda e qualquer singularidade, como tubulações de entrada e saída de produto, portas de limpeza ou outros elementos que possam influenciar significativamente no acréscimo ou decréscimo do volume do tanque.

O trabalho consiste na medição da circunferência, espessura das paredes e altura de cada anel do tanque para chegar à altura total do costado, com emissão do tabelamento volumétrico. Outra medida tomada pelos técnicos é a altura de referência do tanque, que é feita a partir da boca de medição, localizada numa abertura no topo do tanque.

Essa abertura, um tubo cilíndrico, é destinada, no dia-a-dia da empresa, a medir a altura do produto contido. Com o uso da tabela volumétrica, o interessado poderá saber a qualquer momento, quanto de produto existe no tanque, bastando para isso comparar o comprimento em centímetros indicado pela trena de profundidade e a quantidade em litros indicada pela tabela.

Após a medição é emitido um Certificado de Arqueação para o tanque, documento de caráter oficial, válido por dez anos, certificando que foi feita a arqueação, com vistas a atender às exigências dos órgãos governamentais.

Apesar do prazo da validade, o serviço deve ser refeito sempre que haja alguma intervenção no tanque que possa acarretar na capacidade volumétrica. Para realizar o serviço, o tanque deve estar vazio, limpo e descontaminado, de acordo com o que estabelece a norma NBR 14787.

Existem alguns fatores a serem considerados na apuração destes resultados:

- Foram os primeiros testes efetuados utilizando essa metodologia para arqueação de tanques;

- Até onde se sabe essa tecnologia não é aplicada para este fim no Brasil, o que faz com que todas as dificuldades práticas sejam novidades;
- Todos os testes foram realizados no mesmo tanque, sendo que para uma melhor avaliação da viabilidade deste trabalho necessitam-se mais testes em diferentes tanques;
- O equipamento que foi utilizado não é dos mais precisos, sendo que para novos testes isso será observado.
- As dimensões do tanque tomadas como referência foram obtidas em medições utilizando trenas, método este que também tem algumas restrições operacionais quanto a precisão e exatidão.

### **3.1 Diversos Métodos de Arqueação de Tanques**

- Método por Trenas (ISO 7507-1)

A ISO 7507-1 é justamente aquela que trata da metodologia que emprega trenas como principal instrumento para a determinação do perímetro dos tanques verticais e que, a partir destas medidas, conduz a determinação do diâmetro e correspondente seção transversal interna do tanque. Este método não se aplica a tanques que apresentem grandes deformações em sua circunferência, sendo aplicado especificamente àqueles tanques de seção circular. No caso de tanques que apresentem grandes deformações emprega-se o método de calibração por transferência de líquido.

Outro aspecto também considerado pela norma refere-se à máxima inclinação permitida, desvio máximo de 3% da vertical, ainda que a correção correspondente seja efetuada na fase de cálculo.

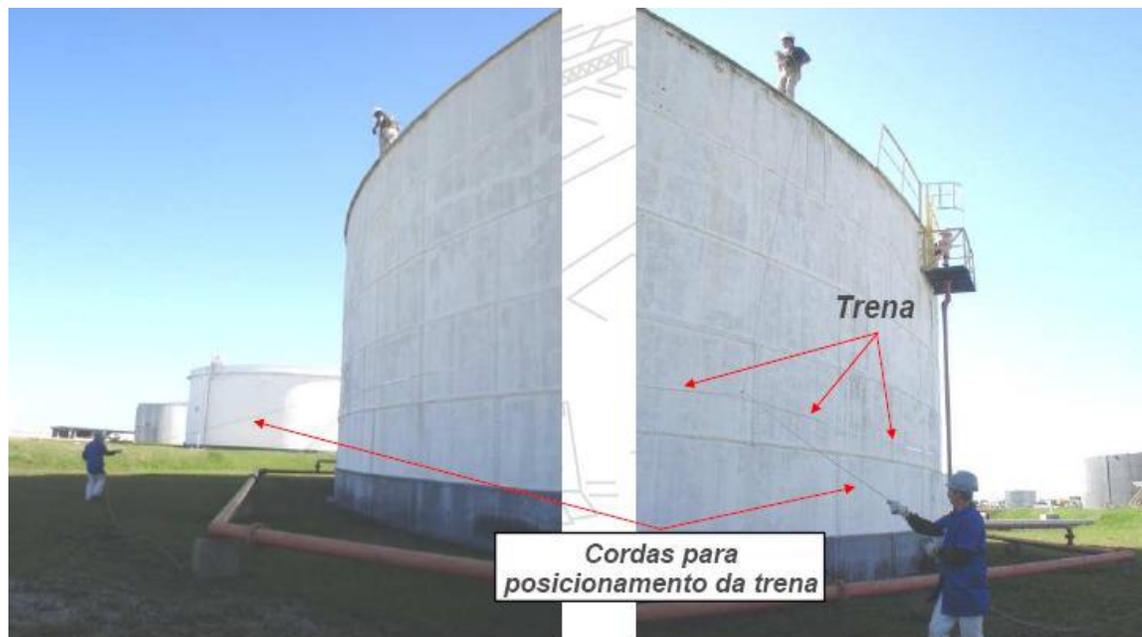


Figura 8 – Técnica da fita métrica (a)

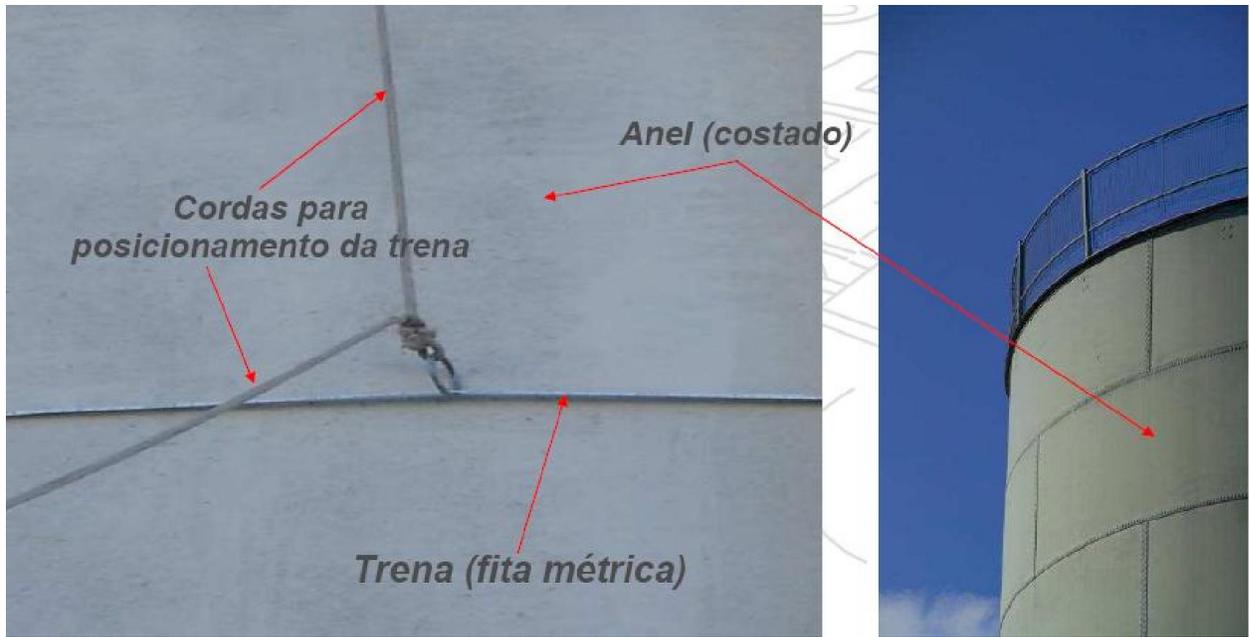


Figura 9 – Técnica da fita métrica (b)



Figura 10 – Técnica da fita métrica (Leitura da circunferência) – Trena topográfica



Figura 11 – Técnica da fita métrica (Medidas externas) – Altura de referência



Figura 12 – Técnica da fita métrica (Medidas internas) – Estruturas internas e topografia do fundo

➤ **Equipamentos utilizados:**

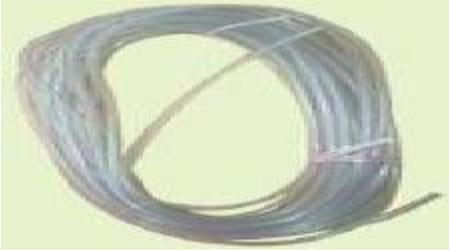


Figura 13 – Mangueira de nível



Figura 14 - Corda



Figura 15 – Trena de profundidade



Figura 16 – Trena topográfica

➤ **Método por Triangulação Óptica (ISO 7507-3)**

Este processo de arqueação emprega, além da trena metálica, nível ótico ou teodolito, carrinho magnético, régua graduada e tripé.

O processo baseia-se na medição da distância da circunferência do tanque, com base em linhas de referência, podendo estar estas linhas internas ou

externas ao tanque. A distância entre estas linhas e a parede do tanque, denominadas ofset, permite avaliar a posição da parede em relação às referências, ao longo de toda extensão da altura do tanque.

Na realidade as referências são linhas verticais paralelas a geratriz do costado do tanque cilíndrico. As linhas de referência inicialmente estabelecidas fisicamente como fios de prumo suspensas a partir do topo do tanque, são hoje na grande maioria das operações linhas virtuais fornecidas por um instrumento ótico.

A distância da parede à linha de referência é efetuada com uma régua graduada afixada o mais próximo possível da linha de centro de um carrinho. A referida escala pode posicionar-se tanto horizontal, quanto verticalmente em relação a parede do tanque, dependendo do modo de operação. As tomadas dos ofsets são realizadas através deste carrinho, que sustentado por uma corda ou fio, pode ser baixado ou elevado ao longo da parede do tanque. Operação esta que pode ser efetuada do topo do tanque ou através de sistema de roldanas, permitindo assim operar ao nível do solo.

O carrinho é mantido junto à parede do tanque através de dispositivo magnético. O deslocamento vertical, controlado remotamente, possibilita proceder as medidas, interna ou externamente a parede do tanque. Neste sentido, com o carrinho e sistema ótico no interior do tanque são feitas as medidas contra a linha de referência situada internamente ao tanque e deslocando-se o carrinho junto à parede interna poderá medir diretamente o diâmetro interno, ou indiretamente pode medir o diâmetro interno, com base na circunferência externa, quando o carrinho externo ao tanque desloca-se junto à sua superfície externa fazendo referência a linhas posicionadas externamente ao costado do tanque.

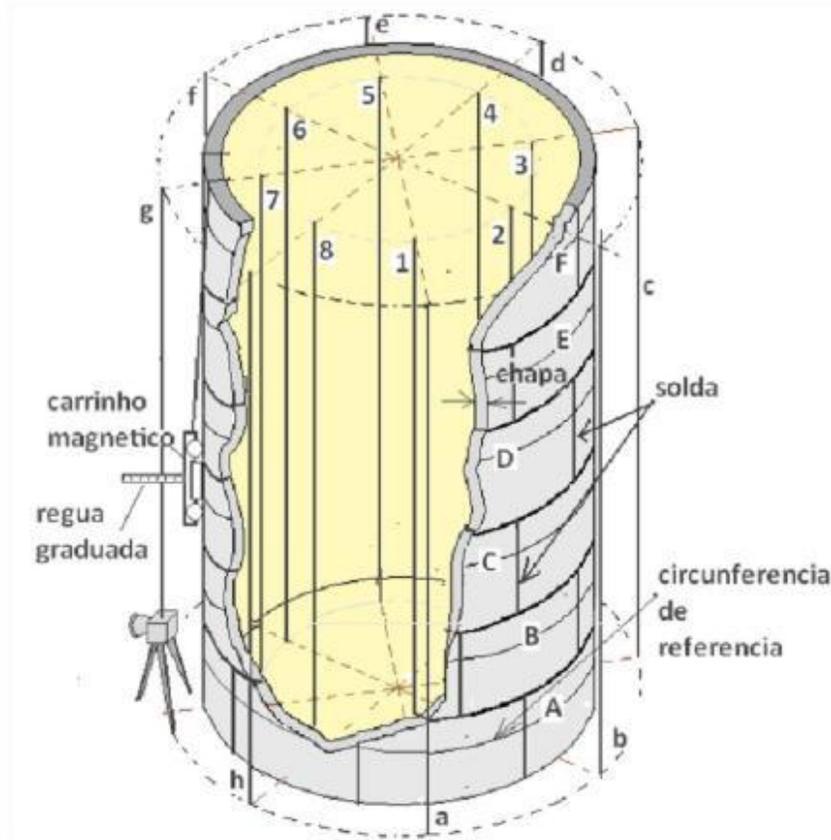


Figura 17 - Desenho esquemático mostrando medidas de ofsets através do procedimento ótico ORLM

➤ **Equipamentos utilizados:**



Figura 18 – Mangueira de nível



Figura 19 - Corda



Figura 20 – Trena de profundidade



Figura 21 – Trena topográfica



Figura 22 - Estação total (Teodolito)

- Determinação de distâncias/coordenadas por medição eletro-óptica externa (ISO 7507-5).

Vista esquemática de duas estações de teodolitos e projeção de tangentes em diferentes níveis.

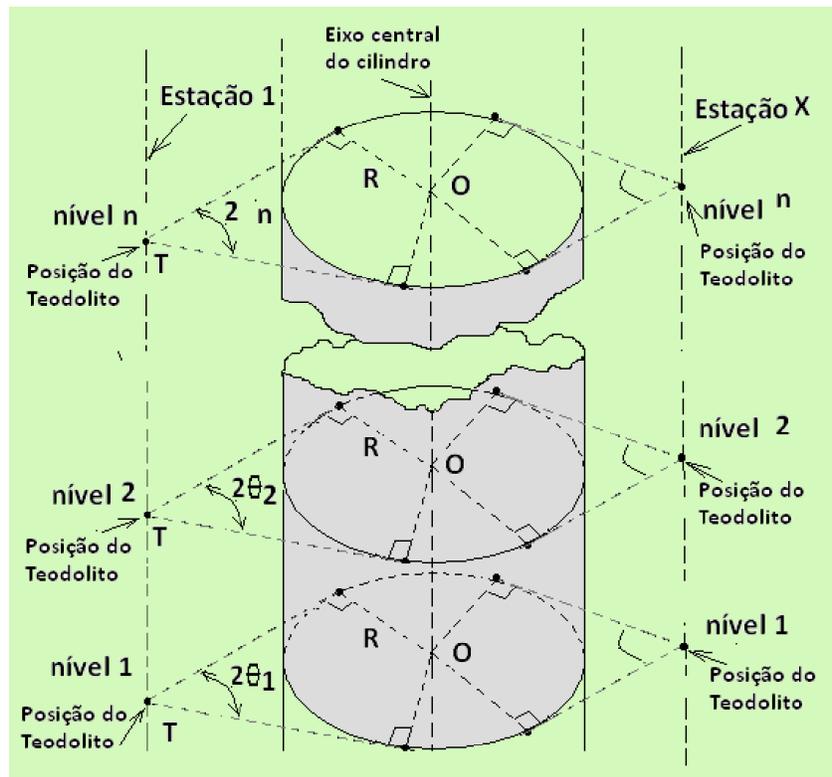


Figura 23 - Estações de teodolitos e projeção de tangentes em diferentes níveis.

Neste processo, com emprego de teodolito determina-se a circunferência do tanque a diferentes níveis com referência a uma linha base que pode ser; uma circunferência de referência, medida pelo procedimento de arqueação por cintamento, uso de trena graduada, ou então com uma linha de base situada entre duas estações de teodolito. Esta linha de base pode ser medida, por meio de uma trena ou por um dispositivo ótico. O valor da circunferência interna é obtido por correção através da medida de sua dimensão externa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho mostra os *resultados práticos* obtidos no processo de desenvolvimento e implantação de um sistema óptico que se pretende utilizar em arqueação de tanques. O grande objetivo da implantação destes resultados é, além da grande evolução tecnológica aplicada, a segurança dos operadores envolvidos neste tipo de trabalho.

Cabe salientar que os procedimentos utilizados na realização destes resultados são baseados nas normas ISO 7507-1 (Método por Trensas), 7507-3 (Método por Triangulação Óptica Externa) e 7507-5 (Determinação de distancias/coordenadas por medição eletro-óptica externa), basicamente. Sendo assim, serão aqui relatados essencialmente os resultados práticos dos experimentos.

### ➤ Desenvolvimento prático

Para os testes práticos, foi escolhido um tanque de dimensões conhecidas, já arqueado pelo INMETRO RS, *utilizando o método de trenas*. O referido tanque pertence a Transpetro – Refinaria de Canoas/RS, e suas dimensões (de acordo com a arqueação por trenas) estão dispostas na Tabela 1.

	<b>Circunferência(m)</b>	<b>Diâm. Externo(m)</b>	<b>Raio ext. (m)</b>	<b>H Acc do Anel(m)</b>
<b>1º Anel</b>	28,780	9,1609585	4,5804793	2,29
<b>2º Anel</b>	28,790	9,1641416	4,5820708	4,72
<b>3º Anel</b>	28,790	9,1641416	4,5820708	7,15
<b>4º Anel</b>	28,790	9,1641416	4,5820708	9,58
<b>5º Anel</b>	28,790	9,1641416	4,5820708	12,01

Tabela 1 – Dimensões do tanque

➤ Equipamentos utilizados

O equipamento utilizado foi uma Estação Total (Teodolito Laser Leica TCR 307), capaz de medir ângulos e distâncias, estas através da emissão de ondas eletromagnéticas com características conhecidas (Laser ou Infravermelho), com ou sem utilização de prisma reflexivo, ou seja, podendo tomar como anteparo reflexivo o próprio objeto da medição (parede do tanque).

### DETERMINAÇÃO DE DISTANCIAS (COORDENADAS) POR MEDIÇÃO ELETRO-ÓPTICA EXTERNA

Este método é descrito na Norma ISO 7507-5, e foi implementado com algumas adaptações em relação a mesma, como por exemplo, medição sem a utilização de fita reflexiva na parede do tanque. Este consiste em mapear as coordenadas das paredes do tanque para obtenção de suas dimensões através do tratamento/processamento dos dados resultantes das medições. Para tal, foram utilizados 4 pontos de medição distribuídos ao redor do tanque, conforme ilustrado na Figura 24.

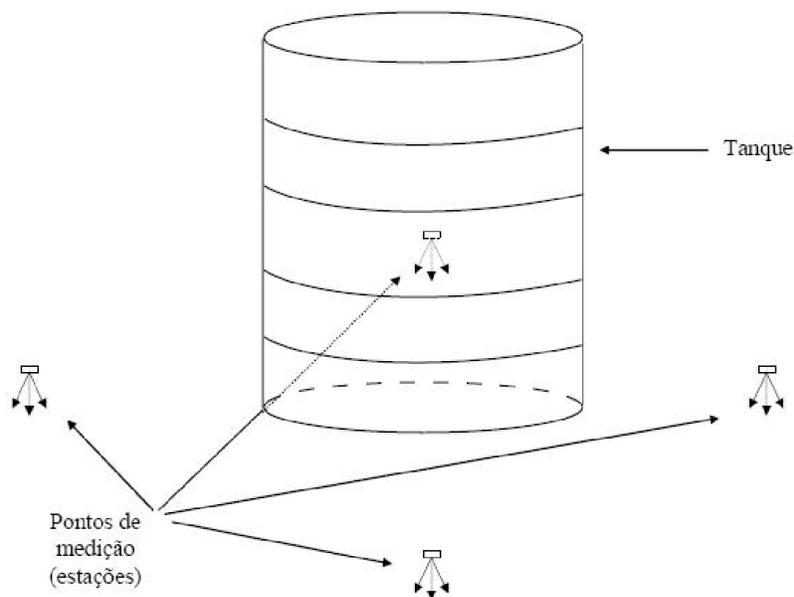


Figura 24 – Esquemático do sistema utilizado para medição

As coordenadas foram tomadas sempre no centro das chapas dos anéis, para que fosse possível traçar uma circunferência para cada uma dessas seções e, conseqüentemente, obter o melhor raio para as mesmas. O equipamento utilizado possui memória interna para gravação dos pontos medidos, permitindo a nomeação dos mesmos para facilitar posterior interpretação dos mesmos. Assim, os pontos foram nomeados da seguinte forma:



Após a realização das medições, os pontos armazenados na memória do equipamento foram transferidos para o computador via conexão serial (RS 232), e podem ser visualizados na Tabela 2 (coordenadas dos pontos nas paredes dos anéis do tanque) e na Tabela 3 (coordenadas dos pontos de medição – estações).

Ponto	X	Y	Z
Estação 1			
1E1A1	6,978	14,451	-0,106
1E1A2	7,23	13,31	-0,1
1E1A3	7,597	12,52	-0,097
1E1A4	8,036	11,892	-0,095
1E1A5	8,497	11,414	-0,094
1E1A6	8,986	11,04	-0,094
1E1A7	9,536	10,735	-0,095
1E1A8	10,125	10,51	-0,097
1E1A9	11,146	10,352	-0,102
1E1A10	12,323	10,352	-0,108
1E2A1	7,052	13,936	1,784
1E2A2	7,311	13,105	1,881
1E2A3	7,642	12,458	1,944
1E2A4	8,183	11,748	1,965
1E2A5	8,738	11,237	1,953
1E2A6	9,288	10,877	1,962
1E2A7	9,975	10,571	1,994
1E2A8	10,668	10,384	1,99
1E2A9	11,445	10,307	1,988
1E2A10	12,469	10,404	1,961
1E3A1	7,028	14,067	4,219
1E3A2	7,315	13,106	4,328
1E3A3	7,782	12,259	4,401
1E3A4	8,582	11,383	4,348
1E3A5	9,198	10,949	4,389
1E3A6	10,096	10,545	4,427
1E3A7	11,058	10,345	4,424
1E3A8	11,552	10,324	4,445
1E3A9	12,102	10,365	4,456
1E3A10	12,755	10,499	4,454
1E4A1	7,051	13,971	6,686
1E4A2	7,272	13,223	6,8
1E4A3	7,594	12,585	6,774

Ponto	X	Y	Z
Estação 3			
3E1A1	15,184	17,635	-0,069
3E1A2	14,753	18,121	-0,08
3E1A3	14,347	18,482	-0,081
3E1A4	13,865	18,807	-0,081
3E1A5	13,427	19,033	-0,081
3E1A6	12,998	19,197	-0,082
3E1A7	12,455	19,349	-0,081
3E1A8	11,549	19,449	-0,081
3E1A9	10,705	19,369	-0,08
3E1A10	10,812	19,389	-0,08
3E2A1	14,777	18,112	1,823
3E2A2	14,449	18,415	1,808
3E2A3	14,112	18,668	1,908
3E2A4	13,683	18,927	1,902
3E2A5	13,237	19,132	1,933
3E2A6	12,714	19,307	1,96
3E2A7	12,191	19,409	1,979
3E2A8	11,717	19,451	1,99
3E2A9	11,312	19,445	2,003
3E2A10	10,707	19,381	2,029
3E3A1	14,881	18,031	4,345
3E3A2	14,505	18,39	4,363
3E3A3	14,17	18,653	4,337
3E3A4	13,808	18,882	4,319
3E3A5	13,483	19,043	4,31
3E3A6	13,136	19,186	4,335
3E3A7	12,75	19,311	4,338
3E3A8	12,242	19,42	4,352
3E3A9	11,494	19,468	4,394
3E3A10	10,498	19,352	4,303
3E4A1	14,681	18,263	6,709
3E4A2	14,347	18,548	6,705
3E4A3	13,833	18,885	6,863

1E4A4	7,966	12,048	6,807
1E4A5	8,371	11,6	6,892
1E4A6	8,863	11,191	6,779
1E4A7	9,308	10,918	6,831
1E4A8	9,767	10,699	6,909
1E4A9	10,562	10,447	6,758
1E4A10	11,814	10,356	7,068
1E5A1	6,995	14,274	9,038
1E5A2	7,192	13,473	9,112
1E5A3	7,435	12,895	9,168
1E5A4	7,749	12,363	9,193
1E5A5	8,123	11,866	9,154
1E5A6	8,665	11,355	9,181
1E5A7	9,149	11,024	9,208
1E5A8	9,914	10,658	9,357
1E5A9	10,67	10,446	9,363
1E5A10	11,794	10,374	9,418
<b>Estação 2</b>			
2E1A1	15,058	11,941	-0,058
2E1A2	15,579	12,727	-0,06
2E1A3	15,845	13,342	-0,061
2E1A4	16,058	14,152	-0,064
2E1A5	16,101	15,244	-0,064
2E1A6	16,036	15,725	-0,064
2E1A7	15,865	16,354	-0,064
2E1A8	15,604	16,964	-0,063
2E1A9	15,409	17,308	-0,062
2E1A10	14,866	18,01	-0,061
2E2A1	15,088	11,999	2,056
2E2A2	15,886	13,467	1,92
2E2A3	16,061	14,208	1,965
2E2A4	16,101	14,567	1,955
2E2A5	16,111	14,936	1,949
2E2A6	16,096	15,288	1,938
2E2A7	16,049	15,662	1,89
2E2A8	15,968	16,039	1,866
2E2A9	15,613	16,97	1,898
2E2A10	15,057	17,807	1,918
2E3A1	15,039	11,959	4,28
2E3A2	15,539	12,694	4,3
2E3A3	15,84	13,358	4,382
2E3A4	16,03	14,027	4,364
2E3A5	16,107	14,628	4,3
2E3A6	16,102	15,234	4,321
2E3A7	16,012	15,867	4,321
2E3A8	15,799	16,559	4,377
2E3A9	15,467	17,239	4,359
2E3A10	14,982	17,917	4,34
2E4A1	15,172	12,145	6,731
2E4A2	15,644	12,919	6,759
2E4A3	15,896	13,546	6,825
2E4A4	16,06	14,205	6,814
2E4A5	16,114	14,837	6,793
2E4A6	16,083	15,446	6,784
2E4A7	15,896	16,307	6,85
2E4A8	15,677	16,861	6,947
2E4A9	15,41	17,347	6,895
2E4A10	14,98	17,943	6,769
2E5A1	14,877	11,813	9,165
2E5A2	15,447	12,577	9,182
2E5A3	15,79	13,262	9,199
2E5A4	16,022	13,986	9,246
2E5A5	16,103	14,544	9,224
2E5A6	16,107	15,133	9,217
2E5A7	16,041	15,747	9,227
2E5A8	15,863	16,424	9,245
2E5A9	15,764	16,684	9,305
3E4A4	13,395	19,105	6,787
3E4A5	12,929	19,281	6,755
3E4A6	12,356	19,425	6,816
3E4A7	11,758	19,488	6,756
3E4A8	11,745	19,489	6,854
3E4A9	11,239	19,481	6,826
3E4A10	10,802	19,431	6,831
3E5A1	14,218	18,657	9,14
3E5A2	13,827	18,911	9,147
3E5A3	13,464	19,088	9,154
3E5A4	13,184	19,203	9,187
3E5A5	12,848	19,311	9,192
3E5A6	12,537	19,398	9,119
3E5A7	12,233	19,457	9,162
3E5A8	11,76	19,505	9,169
3E5A9	11,305	19,502	9,198
3E5A10	10,767	19,452	9,249
<b>Estação 4</b>			
4E1A1	8,409	18,194	-0,159
4E1A2	7,931	17,684	-0,159
4E1A3	7,628	17,242	-0,159
4E1A4	7,352	16,702	-0,16
4E1A5	7,166	16,214	-0,16
4E1A6	7,038	15,713	-0,16
4E1A7	6,969	15,183	-0,159
4E1A8	6,965	14,595	-0,159
4E1A9	7,036	14,012	-0,159
4E1A10	7,22	13,34	-0,158
4E2A1	8,403	18,211	1,955
4E2A2	7,951	17,729	1,971
4E2A3	7,621	17,26	1,944
4E2A4	7,356	16,76	1,978
4E2A5	7,166	16,246	1,973
4E2A6	7,024	15,64	1,974
4E2A7	6,959	14,973	1,985
4E2A8	6,996	14,261	2,004
4E2A9	7,174	13,483	2,038
4E2A10	7,271	13,205	1,968
4E3A1	8,287	18,125	4,325
4E3A2	7,931	17,722	4,386
4E3A3	7,643	17,315	4,38
4E3A4	7,41	16,877	4,374
4E3A5	7,236	16,483	4,362
4E3A6	7,086	16,007	4,356
4E3A7	6,988	15,51	4,419
4E3A8	6,951	14,984	4,439
4E3A9	6,975	14,468	4,446
4E3A10	7,072	13,883	4,461
4E4A1	8,169	18,023	6,748
4E4A2	7,823	17,599	6,804
4E4A3	7,549	17,177	6,833
4E4A4	7,325	16,714	6,832
4E4A5	7,152	16,244	6,817
4E4A6	7,021	15,743	6,817
4E4A7	6,962	15,259	6,803
4E4A8	6,955	14,744	6,851
4E4A9	7,009	14,226	6,845
4E4A10	7,123	13,676	6,783
4E5A1	7,808	17,608	9,163
4E5A2	7,588	17,27	9,18
4E5A3	7,413	16,936	9,172
4E5A4	7,275	16,628	9,235
4E5A5	7,147	16,28	9,221
4E5A6	7,037	15,89	9,256
4E5A7	6,974	15,523	9,238
4E5A8	6,951	15,118	9,258
4E5A9	6,962	14,577	9,252

Tabela 2 – Coordenadas obtidas nas medições dos cinco anéis em campo

Estação	X	Y	Z
1E	16,107	15,133	9,217
2E	16,041	15,747	9,227
3E	15,863	16,424	9,245
4E	15,764	16,684	9,305

Tabela 3 – Coordenadas nos pontos de medição (Estações)

É possível plotar os dados das tabelas Tabela 2 e Tabela 3 num sistema tridimensional para melhor visualização. A Figura 25 apresenta então o sistema de medição, indicando, em escala reduzida, a posição das estações utilizadas ao redor do tanque bem como os pontos medidos no mesmo.

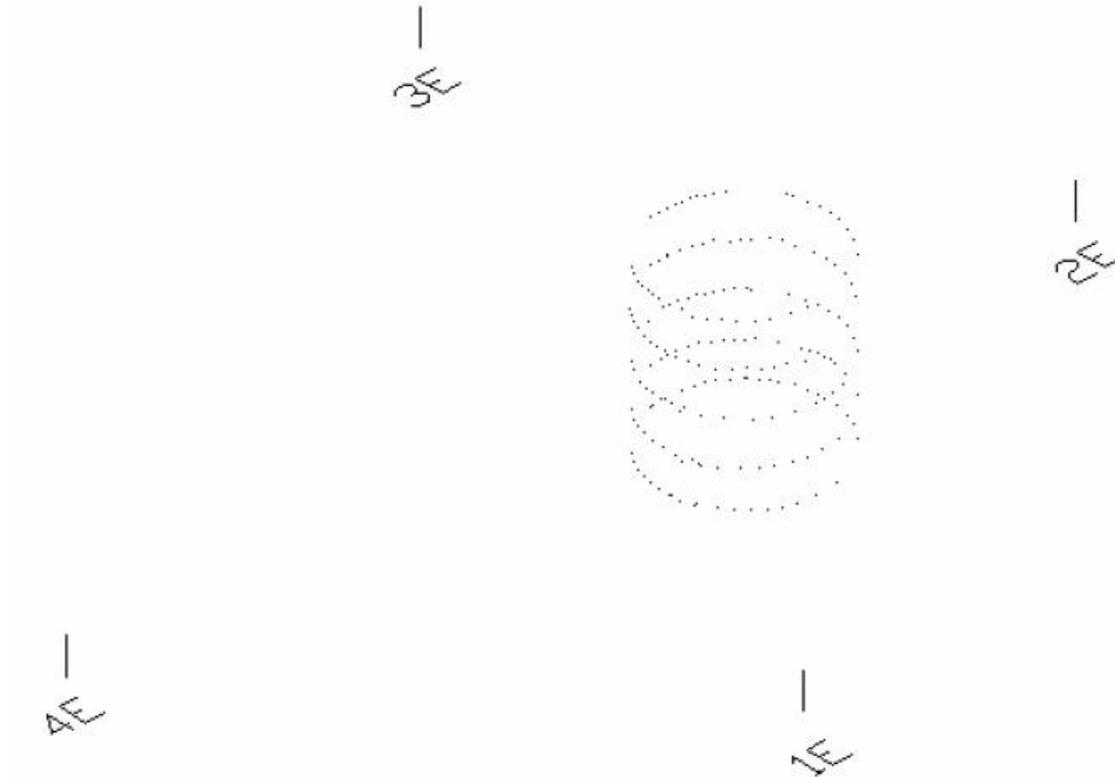


Figura 25 – Visualização de todo o sistema plotado em 3D

A partir das coordenadas de uma “seção transversal” dos anéis do tanque, é possível a obtenção do raio e das coordenadas do centro da melhor circunferência de cada anel, calculada por uma rotina que utiliza o método dos mínimos quadrados.

As figuras Figura 26 a Figura 30 mostram graficamente os pontos medidos (“+”) e a melhor circunferência obtida por cálculo para cada anel (1-5 respectivamente), bem como apresentam o melhor raio e as coordenadas do centro dessas circunferências (ambos em metros), obtidos pelo método supracitado.

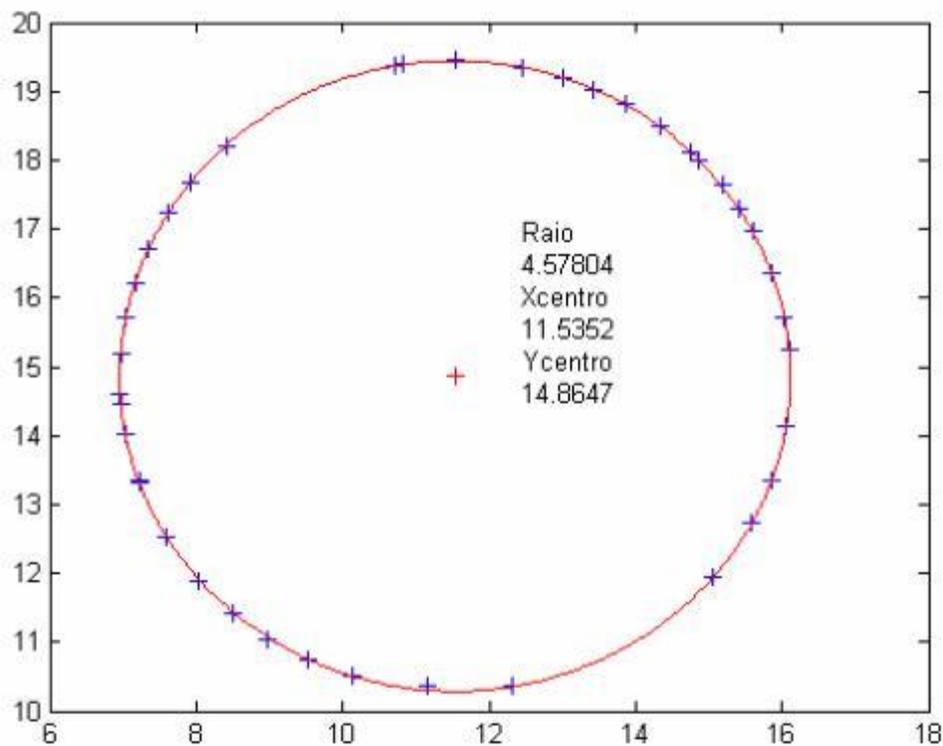


Figura 26 – 1º Anel

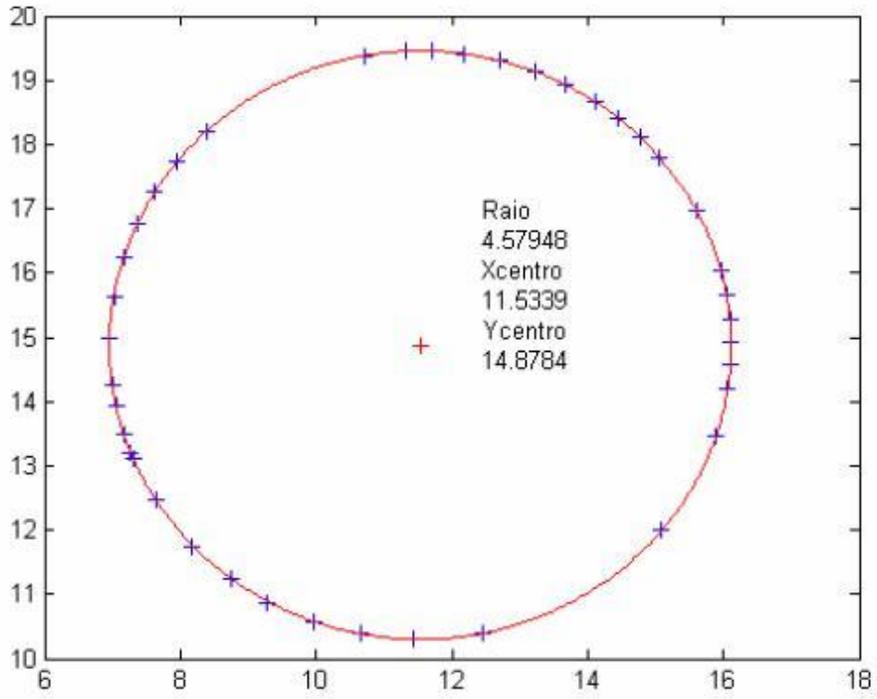


Figura 27 – 2° Anel

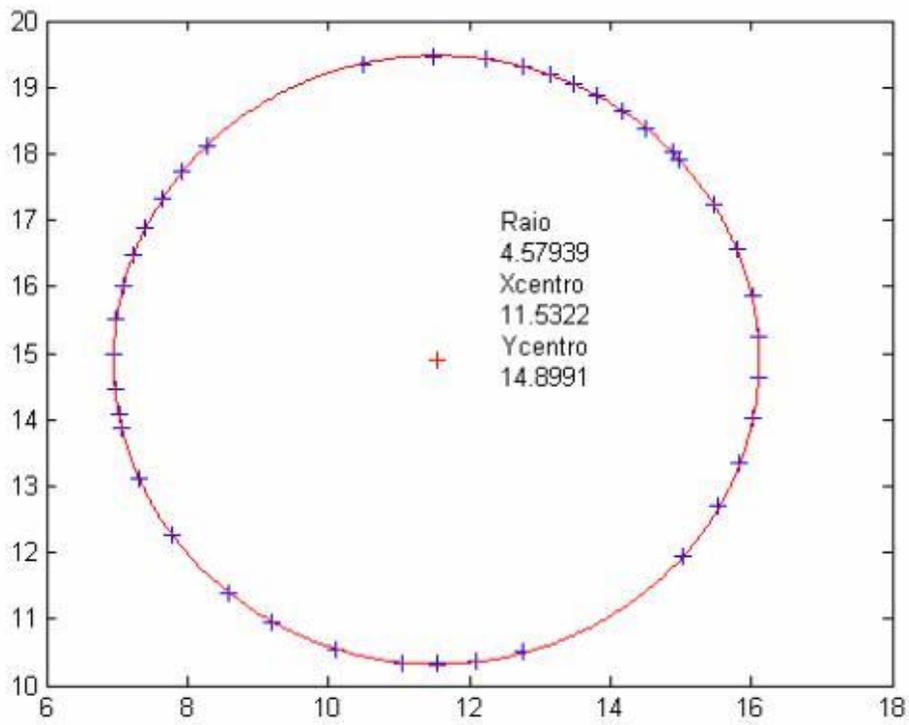


Figura 28 – 3° Anel

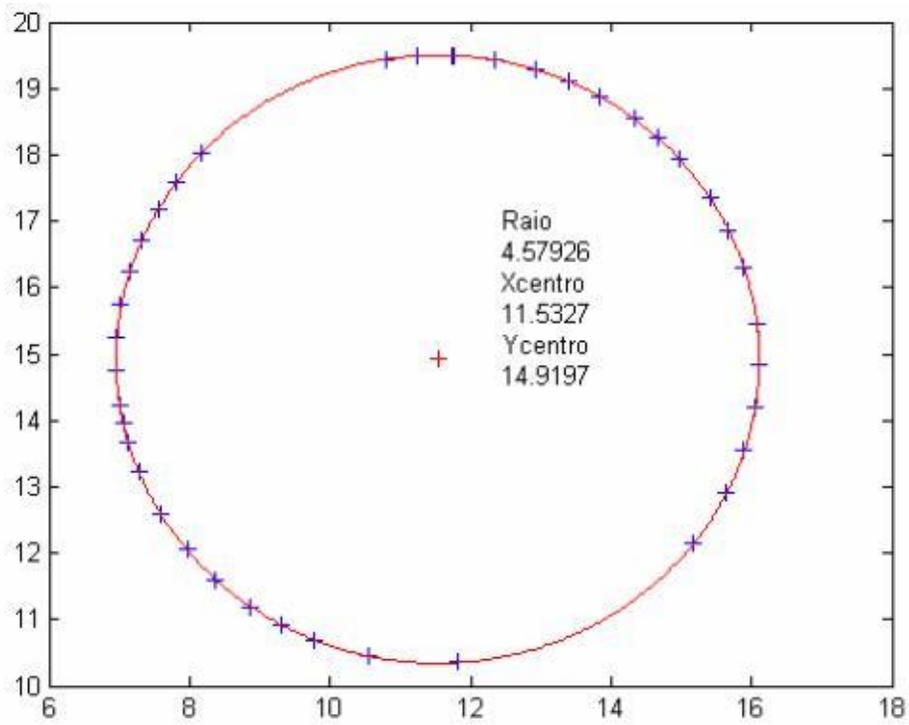


Figura 29 – 4° Anel

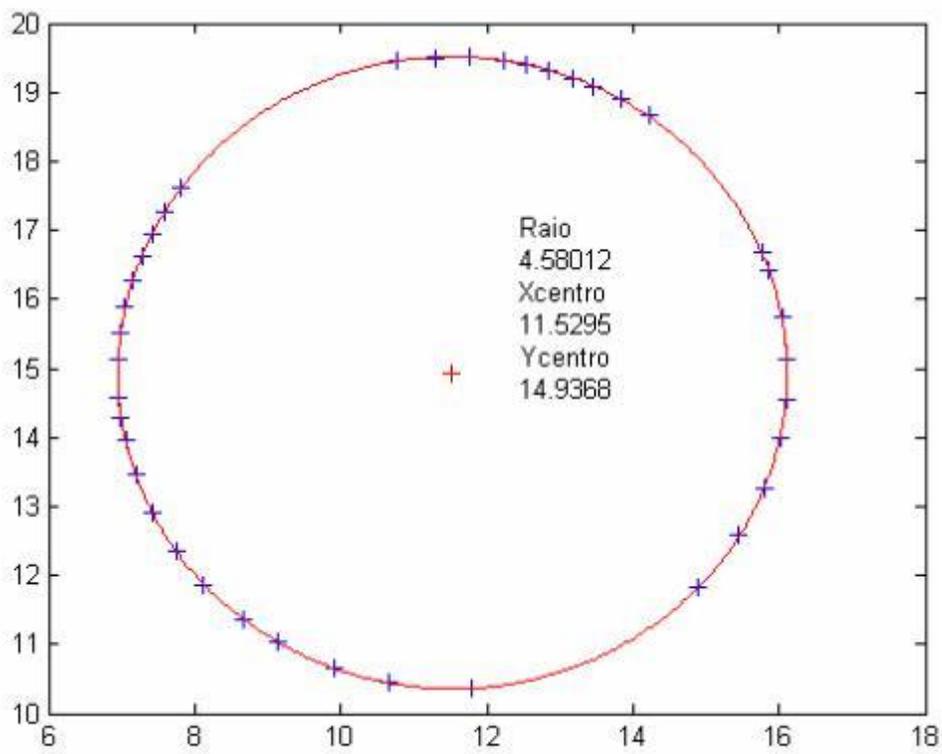


Figura 30 – 5° Anel

A Tabela 4 apresenta uma comparação de valores entre os apresentados no item 0 como “nominais” e os obtidos pelo método em teste, apresentados nas figuras Figura 26 a Figura 30.

	<b>Trena</b>	<b>E.T.</b>	<b>Dif %</b>
<b>1º Anel</b>	4,580479	4,57804	-0,053
<b>2º Anel</b>	4,582071	4,57948	-0,057
<b>3º Anel</b>	4,582071	4,57939	-0,059
<b>4º Anel</b>	4,582071	4,57926	-0,061
<b>5º Anel</b>	4,582071	4,58012	-0,043

Tabela 4 – Comparação de resultados – Trena x Coordenadas

Afim de verificar se alguns pontos por ventura estariam “distorcendo” os resultados, ou seja, muito distantes da melhor circunferência, foi utilizado um método para eliminação dos mesmos. Para tal, foi calculada a média das distâncias dos pontos ao centro da circunferência bem como o desvio padrão em relação a essa média. Os pontos cujo módulo da diferença ao centro é maior que duas vezes o desvio padrão foram eliminados. Os dados obtidos desse procedimento podem ser verificados na Tabela 5.

	<b>Trena</b>	<b>E.T.</b>	<b>Dif %</b>
<b>1º Anel</b>	4,580479	4,579889	-0,013
<b>2º Anel</b>	4,582071	4,578754	-0,072
<b>3º Anel</b>	4,582071	4,579834	-0,049
<b>4º Anel</b>	4,582071	4,578572	-0,076
<b>5º Anel</b>	4,582071	4,579844	-0,049

Tabela 5 – Comparação dos resultados filtrados por “Curva Gaussiana”

#### TRIANGULAÇÃO ÓPTICA EXTERNA (MÉTODO DAS TANGENTES).

Para este método também foram utilizadas 4 estações ao redor do tanque, de acordo com a Figura 24. Este procedimento consiste na medição dos ângulos e distâncias, conforme apresentados na Figura 31,

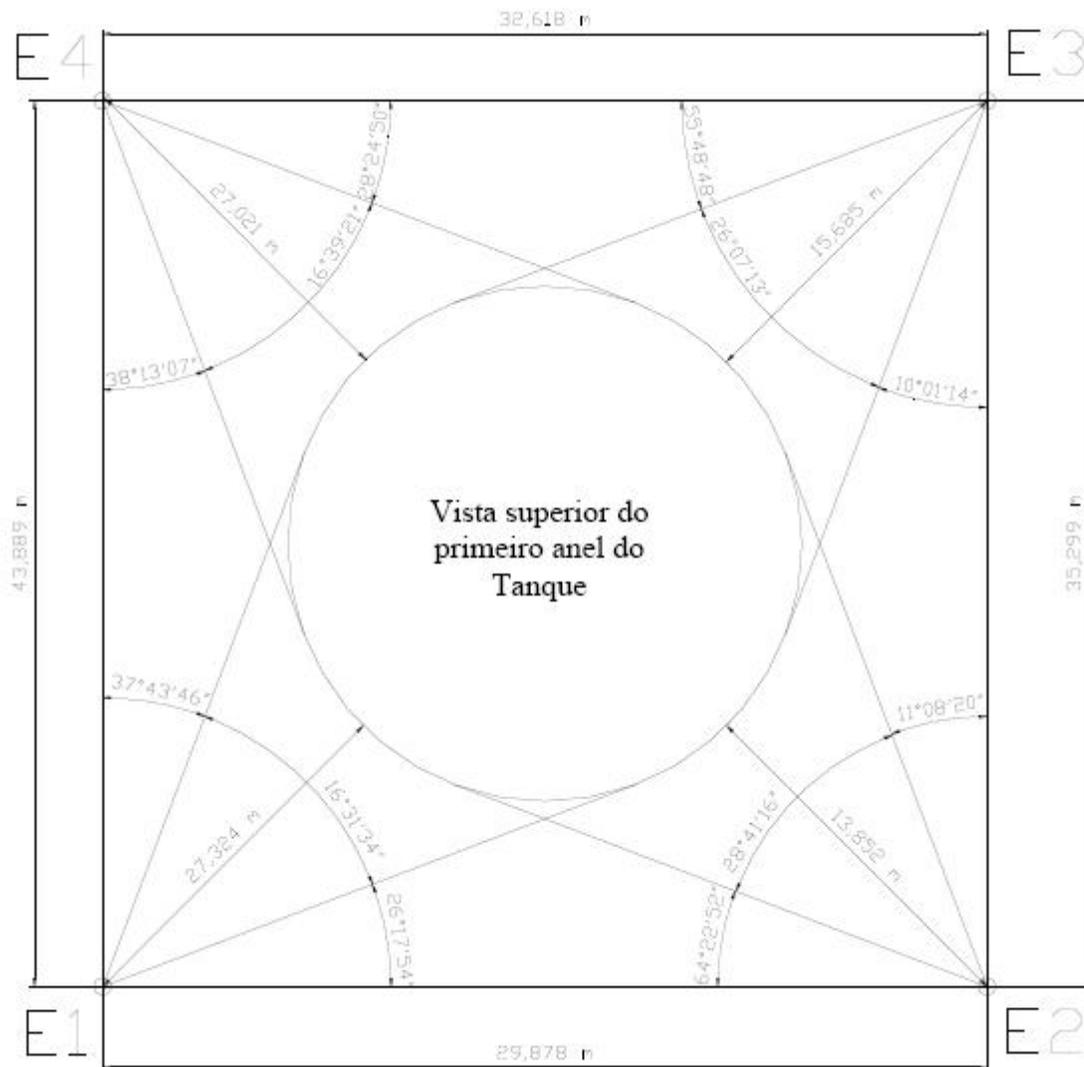


Figura 31 - Distâncias e ângulos medidos no primeiro anel do tanque – Método das Tangentes

Para este experimento foram medidos apenas o 1º e o 2º anel do tanque, e os resultados estão apresentados na Tabela 6.

	<b>Trena</b>	<b>E.T.</b>	<b>Dif %</b>
<b>1º Anel</b>	4,580479	4,577592	-0,063
<b>2º Anel</b>	4,582071	4,577104	-0,109

Tabela 6 - Comparação de resultados – Trena x Tangentes

## 5 CONCLUSÕES

Tendo em vista fatores como aplicabilidade em um só tanque e uma tecnologia em fase de implantação no Brasil, pode-se classificar os resultados obtidos no mínimo como satisfatórios, e considerar a experiência, que aos poucos é adquirida, servirá para chegar ao nível esperado com a maior precisão e exatidão possível para este tipo de trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Material disponibilizado pelo Professor Dr. Carlos Aurélio Nadal em: <http://moodle.cesec.ufpr.br/> ;
- ✓ <http://www.inmetro.gov.br> ;
- ✓ Norma 021- NIE-DIMEL fev, 2008- Procedimentos gerais para arqueação de tanques;
- ✓ ISO 4269 – Petroleum and liquid petroleum product –Tank calibration by liquid measurement- Incremental method using volumetric meters;
- ✓ RESENDE R. A. Modelo de gestão aplicado a metrologia legal: Proposta do modelo brasileiro para arqueação de tanques- Dissertação de Mestrado – 2004;
- ✓ Trindade, I., Evangelist, M. Lazari, R.F. Confiabilidade Metrologia nas Medições e Volume. Metrologia para a vida. Sociedade Brasileira de Metrologia, Setembro de 2003;

- ✓ Nº 47/1946 - R 71- Medições em tanques para depósito de gasolina, querosene, óleos e outros produtos líquidos do petróleo, importados à granel;
- ✓ Nº 33/1967- R 85 - Norma para determinação da altura de produtos de petróleo armazenados em tanque;
- ✓ Nº 163/2005 -V 02-Vocabulário Internacional de Termos de Metrologia Legal, baseado no documento elaborado pela Organização Internacional de Metrologia Legal, com a devida adaptação ao nosso idioma, às reais condições existentes no País e às já consagradas pelo uso;
- ✓ DE REZENDE, Raimundo Alves. *Modelo de gestão aplicado à metrologia legal: Proposta do modelo brasileiro para arqueação de tanques*. Dissertação Mestrado em Sistema de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.
- ✓ AZEVEDO, C. Introdução Tecnologia Industrial Básica, Notas de Aula;
- ✓ NETO, A. C. Estatística e Probabilidade, Apostila do Curso de Especialização em Metrologia Legal UFPR/INMETRO Curitiba 2009.Mod III, Un I, 2009, p.116; Notas de Aula;
- ✓ BRUNATTO Silvio F. Medição Na Área De Físico-Química, Massa Específica E Temperatura – Apostila do Curso de Especialização em Metrologia Legal UFPR/INMETRO Curitiba 2009. Modulo um, 2009, Notas de Aula.