

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA E DE COMPUTAÇÃO

**ANÁLISE DE ERROS DE MEDIÇÃO DE UM ALGORITMO DE
ESTEREOFOTOGRAMETRIA**

Autores:

Zigma Marques Moreira

Orientadora:

Mariane Rembold Petraglia

Co-orientador:

José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes

Examinador:

Antonio Petraglia

Examinador:

Julio Cesar Boscher Torres

DEL
Outubro/2006

Dedicatória

Dedico à minha família, aos meus amigos, e principalmente à Edith Alvez Moreira que durante esses cinco anos me ajudou nessa caminhada.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Profs. Mariane Rembold Petraglia e José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes, e ao Geraldo Rodrigues pelo estímulo e orientação ao longo do desenvolvimento deste projeto final.

Aos Profs. Antonio Petraglia e Julio C. B. Torres, pela participação na banca de avaliação deste projeto final.

Aos colegas do PADS (Laboratório de Processamento de Sinais) pelo apoio durante o trabalho.

Aos demais professores e colegas do Departamento de Engenharia Eletrônica da Escola Politécnica da UFRJ que colaboraram para a realização deste projeto.

Os resultados aqui apresentados foram provenientes de trabalho conjunto COPPE-Petrobrás, no projeto “Levantamento e Inspeção Submarina em 3D”. Os testes descritos foram realizados no tanque dos Laboratórios de Tecnologia Submarina do CENPES/Petrobrás.

Resumo do projeto final que será apresentado ao Departamento de Engenharia Eletrônica, Escola politécnica, UFRJ, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Eletrônica e da Computação.

Análise de Erros de Medição de um Algoritmo de Estereofotogrametria

Zigma Marques Moreira

Outubro/2006

Orientador: Mariane Rembold Petraglia

Programa: Engenharia Elétrica

Este trabalho apresenta uma análise de erro de um algoritmo de estereofotogrametria desenvolvido para um sistema de visão estéreo. Este sistema vem sendo utilizado em atividades de inspeção visual submarina, permitindo a aquisição e o processamento de pares de imagens estéreo, com vistas à reconstrução tridimensional de uma cena e, por conseguinte, ao dimensionamento de objetos selecionados.

Sumário

1. Introdução	1
2. Estereofotogrametria:	
2.1 Conceitos básicos.	2
3. Teste de validação no tanque do CENPES	
3.1 Análise de imagens produzidas pelas câmara Subsea.	7
3.2 Análise de imagens produzidas pelas câmara Hydratec.	15
3.3 Análise dos dados do teste de validação no tanque do CENPES.	21
3.3.1 Influência da distância do objeto às câmeras no erro de medição.	21
3.3.2 Influência da dimensão do objeto no erro de medição.	24
3.3.3 Influência do grid no erro de medição.	26
3.3.4 Influência da direção no erro de medição.	30
3.3.5 Influência do usuário no erro de medição.	32
3.2.6 Influência da inclinação no erro de medição.	34
3.2.7 Influência da inclinação no desvio padrão das medidas.	39
4. Conclusão	42
5. Bibliografia	44

1. Introdução

O presente estudo apresenta a análise de um método robusto para calibração de câmeras em problemas de reconstrução tridimensional envolvendo pares de imagens estéreo e o uso de técnicas de estereofotogrametria, de forma que a reconstrução seja eficientemente efetuada.

O método robusto desenvolvido aplica-se ao procedimento de determinação dos parâmetros de orientação exterior, garantindo uma estimação rápida e precisa. Foram aplicadas em conjunto diversas técnicas de forma a garantir a convergência. Inúmeros testes experimentais realizados comprovaram a eficácia do método desenvolvido.

Os erros obtidos foram bem pequenos, não ultrapassando 3% na média, comprovando a eficiência do método proposto. Foram feitos testes para comprovar a robustez do sistema, a qual foi verificada pela pequena variação dos resultados ao se utilizar conjuntos de pontos de entrada com diferentes números de pontos.

Os métodos foram utilizados em um sistema de visão estéreo que envolve a aquisição, processamento e reconstrução de pares de imagens estéreo, a ser empregado em atividades de inspeção visual. O sistema permite a visualização de imagens em tempo real, com noção de profundidade, através de uma interface de operação amigável. Este sistema tem características de baixo custo, confiabilidade e portabilidade, permitindo operações remotas em ambientes hostis para o ser humano.

O objetivo deste trabalho é analisar os erros em medidas de dimensões de objetos no espaço tridimensional obtidas por esse sistema de visão estéreo, variando-se à distância e a posição do objeto a ser dimensionado em relação às câmeras e ao padrão de calibração.

2. Estereofotogrametria: Conceitos Básicos

O trabalho apresenta uma análise de erro do algoritmo de estereofotogrametria desenvolvido para um sistema de visão estéreo. Este sistema, mostrado na Figura 1, vem sendo utilizado em atividades de inspeção visual submarina, permitindo a aquisição e o processamento de pares de imagens estéreo, com vistas à reconstrução tridimensional de uma cena e, por conseguinte, ao dimensionamento de objetos selecionados.

Baseado nesta metodologia, um sistema de visão tridimensional integrado (*software e hardware*) foi desenvolvido. Este sistema é dividido em três estágios: aquisição de imagens estéreo, pré-processamento das imagens, e reconstrução tridimensional, como mostra a Figura 1.

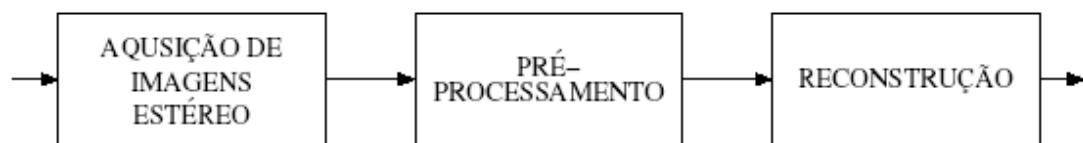


Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema de visão estéreo.

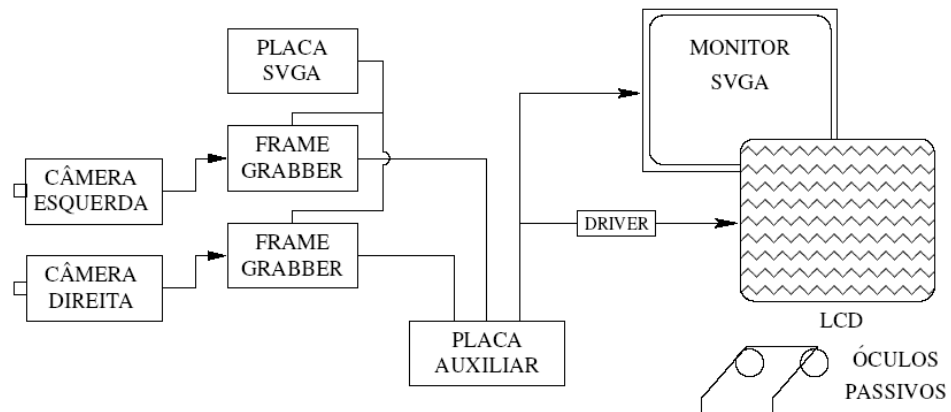


Figura 2 – Sistema de visão estéreo.



Figura 3 – Sistema de visão estéreo em operação.

O estágio de aquisição utiliza duas câmeras de vídeo do tipo CCD (*charge-coupled device*), permitindo a visualização em tempo real das cenas a serem analisadas.

As câmeras CCD foram montadas em uma base fixa, alinhadas horizontalmente, e com uma linha-base (distância entre os centros ópticos de cada câmera) de cerca de 5,5 cm. Esse valor adotado (5,5 cm) corresponde aproximadamente à distância entre os olhos de um ser humano adulto permitindo, ao usuário do sistema, a sensação de tele-presença.

As placas digitalizadoras são do tipo *frame grabber*, tendo a função de converter os sinais e vídeo NTSC vindo das câmeras de forma a serem exibidos no monitor SVGA. As saídas de ambas as placas são conectadas a uma placa auxiliar, cuja função é efetuar o chaveamento entre as imagens esquerda e direita alternadamente, garantindo que cada imagem seja mostrada ao olho humano. Por isso a cada imagem mostrada nesse trabalho teremos na parte superior a imagem que representa a imagem vista pelo olho esquerdo e na parte inferior a imagem vista pelo olho direito.

O dispositivo de visualização estereoscópica é composto por uma tela de cristal líquido (LCD - *liquid crystal display*) e óculos passivos, permitindo a visualização tridimensional das cenas a partir da composição de duas imagens de um par estéreo, fornecendo a noção de profundidade.

O estágio de pré-processamento inclui a aplicação de técnicas de processamento de imagens tais como equalização de histograma e filtragem espacial às imagens adquiridas.

Por fim, as imagens do par estéreo são submetidas ao estágio de reconstrução, onde coordenadas tridimensionais são estimadas.

No início da operação, é feita a calibração do sistema, através de um método robusto desenvolvido para extração dos parâmetros de orientação das câmeras, o qual requer a solução de um problema de mínimos quadrados não-linear. Para o desenvolvimento deste método robusto foram utilizadas variadas técnicas de otimização.

A partir de uma análise experimental e estatística, avaliamos a precisão do algoritmo de estereofotogrametria desenvolvido em função da localização do objeto a ser dimensionado. Para isto, foram realizados vários experimentos em um tanque da Petrobras, onde foram capturadas imagens, com pares de câmeras das empresas Subsea (SS7) e Hydratec, contendo padrões de medição posicionados em diferentes distâncias e com diferentes orientações em relação às câmeras. Essas imagens contêm *grids*, compostos de pontos por onde nos orientamos quando fazemos as medições.

Com esses dados em mãos foi gerada uma tabela que contém todos os dados medidos e calculados durante esse projeto. Através dessa tabela verificamos quais eram os erros mais significativos e tentamos analisar o seu causador principal.

Durante alguns meses foram capturadas diversas imagens, e dentre elas escolhemos as que possuíam melhor resolução e posicionamento. A seguir será feita a análise de sete imagens

selecionadas do conjunto adquirido com as câmeras SS7, com objetivo de descobrir quais são os fatores que influenciam nos erros de medição. O erro considerado durante esta análise foi o erro médio absoluto gerado a partir de oito medições (para cada segmento). A Figura 4 mostra o grid pelo qual seguimos a orientação (Leste, Oeste, Norte, Sul) e os alvos cujas distâncias ao centro do grid serão medidas. Deve-se observar, que não são em todas as fotos que o grid se encontra na posição da figura abaixo; logo para cada figura foi necessário verificar a posição do grid para seguir corretamente as direções.

Outro detalhe importante é sobre a definição dos ciclos no grid da Figura 4. Os ciclos são circunferências formados por 4 alvos localizados nos 4 pontos do grid. Cada ciclo, foi definido para nos auxiliar na localização das distâncias a serem medidas, possui 4 alvos (ou marcadores) igualmente afastados do centro. O grid da Figura 4 possui 7 ciclos, sendo que 2 encontram-se dentro do alvo central (não visíveis na Figura 4).

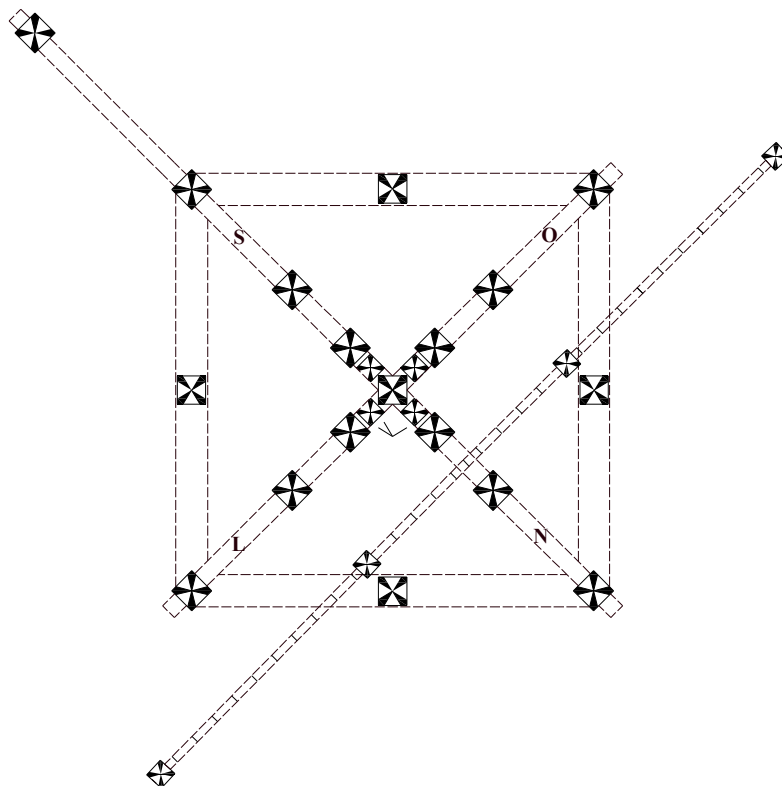


Figura 4 – Grid usado para medições do sistema de visão estéreo. Direções: Leste (L), Norte (N), Oeste (O), Sul (S).

3. Teste de validação no tanque do CENPES:

O teste de validação do sistema de visão 3D realizado no tanque do CENPES, Centro de Pesquisas da Petrobras localizado na ilha do fundão, teve duração de cerca de três meses. Este teste foi realizado com o intuito de avaliar o desempenho do sistema considerando: as câmeras selecionadas; a localização e o tamanho dos grids de calibração; a inclinação, profundidade e a distância dos objetos em relação às câmeras.

3.1 Análise de Imagens

Para que pudéssemos iniciar as análises dos erros, verificamos que um dos fatores principais a ser considerado era a qualidade das imagens, pois são delas que obtemos as coordenadas dos pontos, para os algoritmos de calibração e de estereofotogrametria. Estas imagens estão divididas quanto ao tipo de câmera utilizada. Sendo assim a seguir faremos a análise das imagens obtidas com as câmeras da Subsea (SS7) e com as câmeras da Hydratec (Hydr).

Análise de Imagens produzidas pelas câmeras Subsea

Par de Imagens 1

Durante a análise da imagem 1, como mostra a Figura 5, observamos que os pontos associados aos maiores erros estão no ciclo 3 em todas as direções. Verificando na imagem, percebemos que alguns destes pontos estão próximos das bordas da imagem. Como nestas regiões há uma maior distorção das câmeras, este pode ter sido um fator que contribuiu para os erros nestas medidas. No entanto, como estes erros não foram muito maiores que os demais, mantivemos as medidas obtidas no ciclo 3 desta imagem no conjunto de análise.



Figura 5–Imagem 1: esquerda (acima) e direita (abaixo), obtidas com as câmeras SS7.

Par de Imagens 2

Da análise dos erros obtidos nas medições do par de imagens 2, mostrado na Figura 6, observamos que os pontos Sul e Leste no ciclo 4 foram os que tiveram os maiores erros absolutos. Verificamos que estes pontos encontram-se nas bordas de uma das imagens do par, que pelo mesmo motivo exposto na análise da Imagem 1, pode ter ocasionado estes erros maiores.

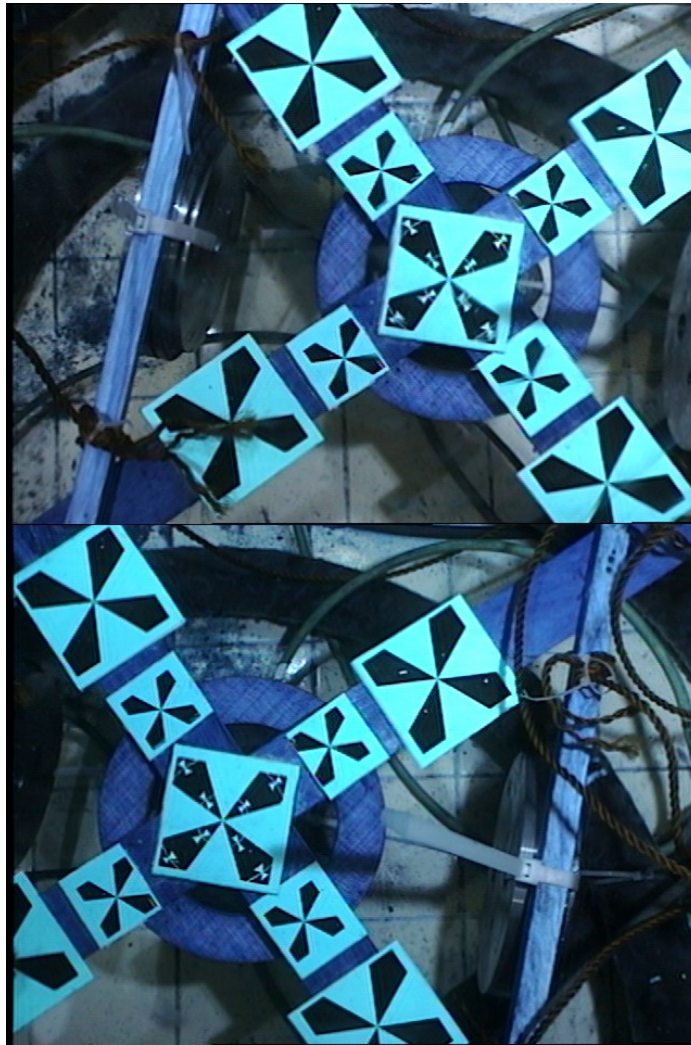


Figura 6– Imagem 2: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras SS7.

Par de Imagens 3

Durante a análise do par de imagens 3, mostrado na Figura 7, percebemos que a imagem da direita possui um cabo sobre o ciclo 4 do marcador, o que pode ter ocasionado um aumento erros das medidas deste ponto, que foram um pouco maiores que os demais. Em geral a imagem apresenta boa resolução e bom foco.

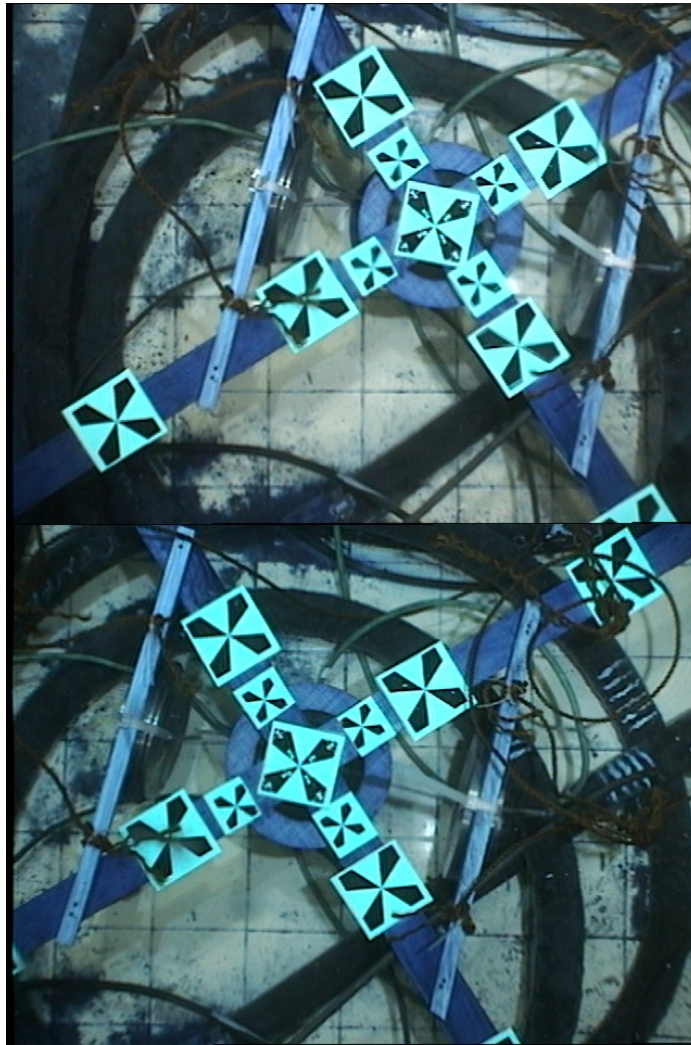


Figura 7– Imagem 3: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras SS7.

Par de Imagens 4

Durante a análise das medições com a imagem 4, mostrada na Figura 8, observamos que os pontos do ciclo 4 apresentaram os maiores erros. Verificamos na imagem que nos pontos Norte e Sul do ciclo 4 nas imagens direita e esquerda há um cabo sobre o marcador, o que pode ter ocasionado erros durante a marcação dos pontos.

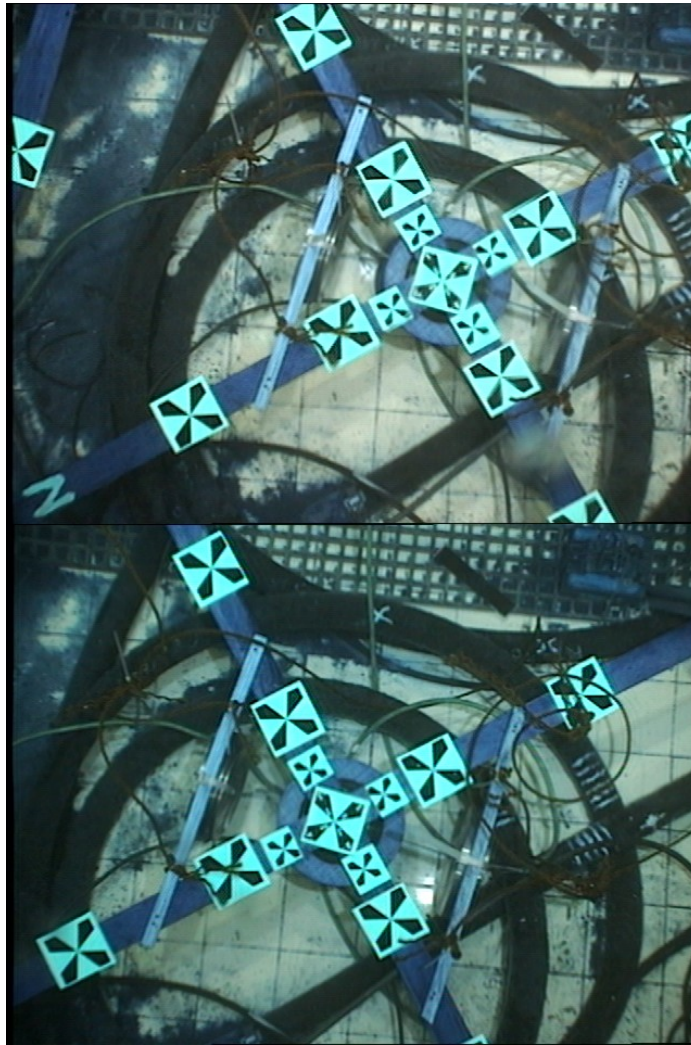


Figura 8–Imagem 4: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras SS7

Par de Imagens 5

Durante a análise da imagem 5, mostrada na Figura 9, observamos que os pontos do ciclo 3, 4 e 5 foram os que apresentaram erros maiores. Analisando as imagens percebemos que a imagem direita parece estar embaçada, e fora de foco em relação à imagem esquerda. Nos pontos Norte do ciclo 4 e Sul do ciclo 5 há um cabo que passa nos centros dos respectivos marcadores dos ciclos.

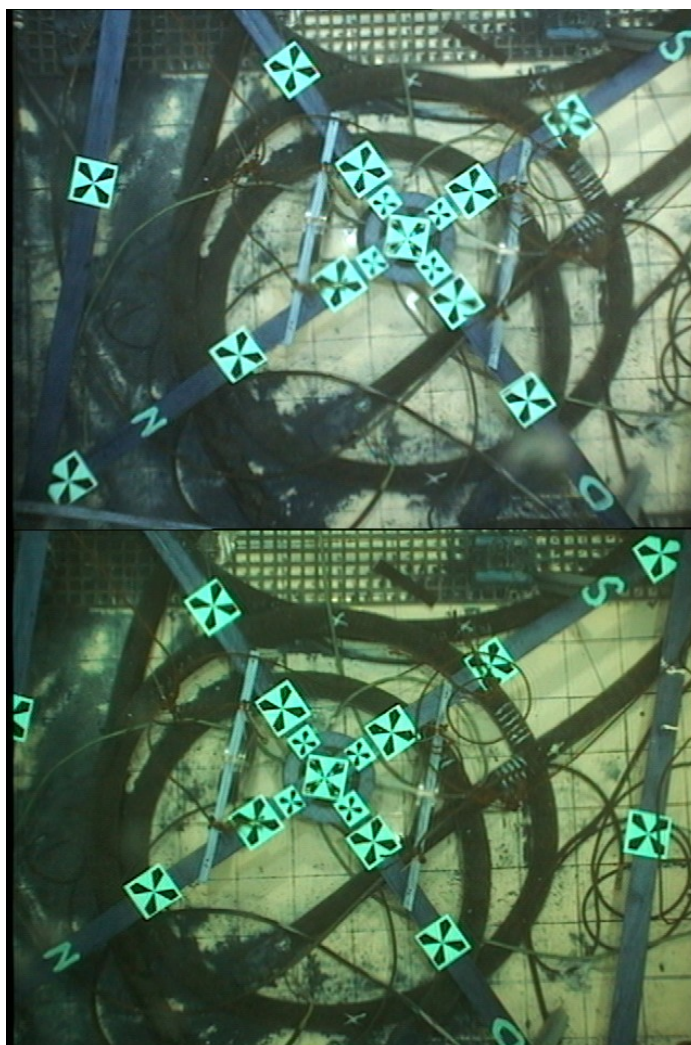


Figura 9– Imagem 5: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com câmeras da SS7.

Par de Imagens 6

Durante a análise da imagem 6, mostrada na Figura 10, percebemos que imagem esquerda também apresenta pior qualidade em relação à imagem direita. Outra consideração é que algumas medições foram feitas aproximando muitos os pontos através da função zoom, pois devido à grande distância das câmeras ao objeto ficava difícil medir os pontos nesses ciclos sem aproximá-

los. Ao utilizar a função zoom várias vezes, a resolução da imagem não ficava boa, podendo assim ter ocasionado um aumento nos erros das medições.

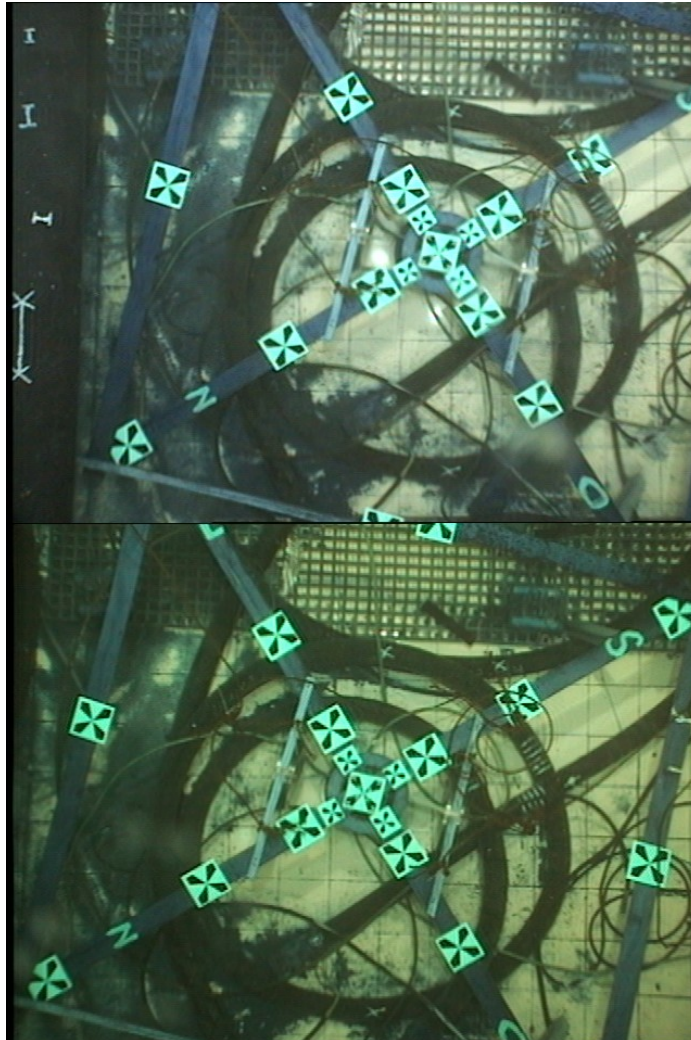


Figura 10–Imagem 6: esquerda (acima) e direita (abaixo) com as câmeras SS7.

Par de Imagens 7

Durante a análise da imagem 7, mostrada na Figura 11, percebemos novamente que a imagem esquerda parece estar embaçada. Outra consideração é que algumas medições foram feitas aproximando muitas as imagens, como no caso da Imagem 6.

Par de Imagens 8

O par de imagens 8 foi descartado, pois durante a aquisição houve um problema com a alteração automática da distância focal das câmeras.

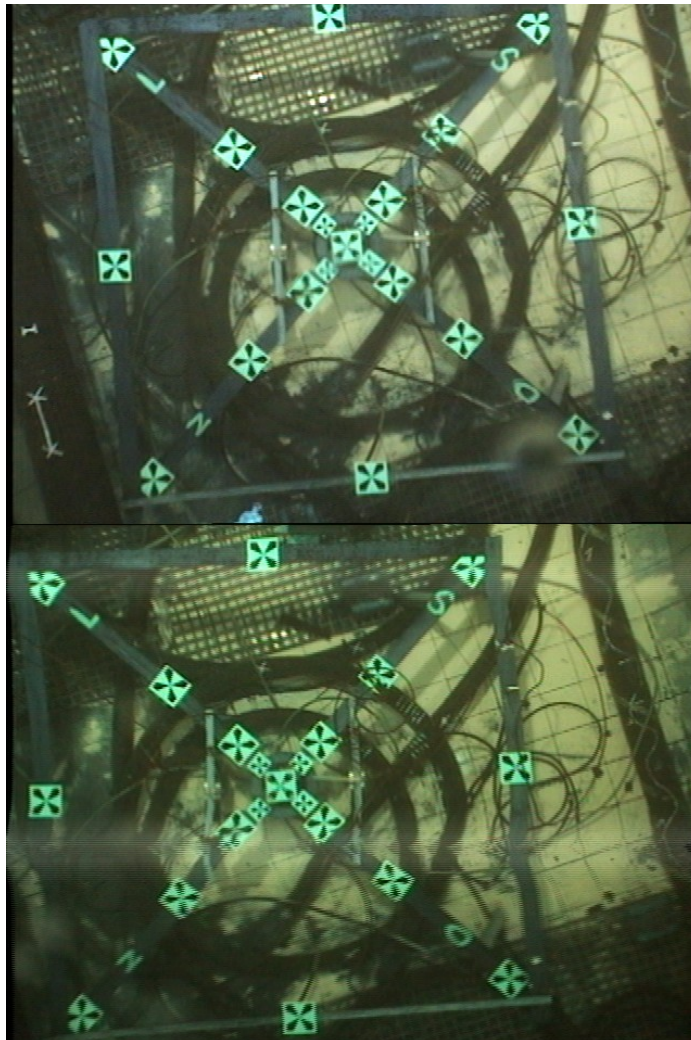


Figura 11—Imagem 7: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras SS7.

Par de Imagens 9

Durante a análise da imagem 9, mostrada na Figura 12, percebemos os mesmos problemas observados com a imagem 7, ou seja, a imagem direita apresenta pior resolução que à esquerda e houve necessidade de usar várias vezes a função zoom.

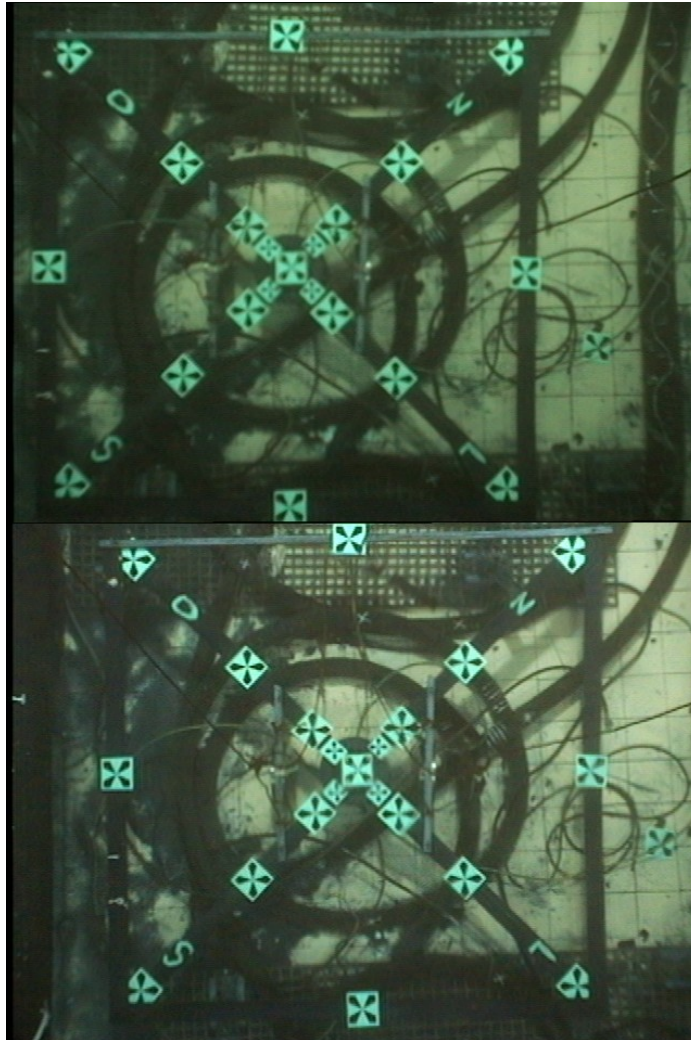


Figura 12– Imagem 8: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras SS7.

3.2 Análise das imagens produzidas pelas das câmeras Hydratec

Como foi feito anteriormente com as imagens da câmera da SS7, a seguir será feito o mesmo trabalho de análise das imagens 1, 2, 3, 5, 6 da Hydratec para avaliar se a qualidade das imagens influenciou de alguma forma nos erros.

Par de Imagens 1

O par de imagens 1, mostrado na Figura 12, está nítido e visualmente perfeito, e as medições correspondentes não apresentaram erros acima de 0,1%.

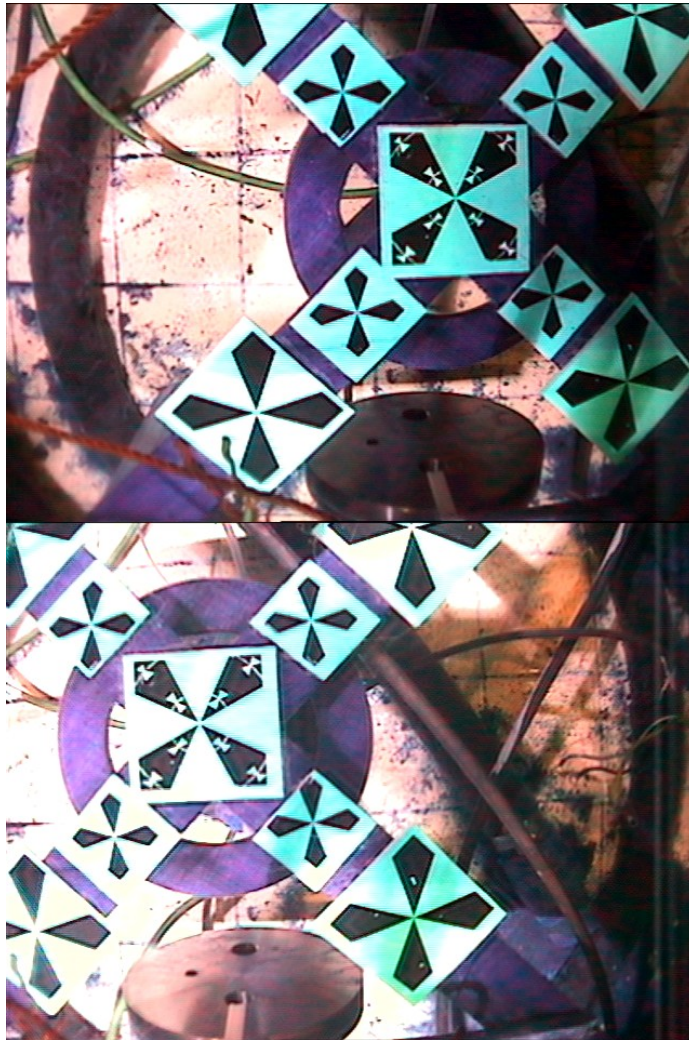


Figura 13 – Imagem 1: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras Hydratec.

Par de Imagens 2

Durante a análise da imagem 2, mostrada na Figura 14, percebemos que o ponto Sul do ciclo 4 foi o que teve erro maior e verificando as imagens percebemos que há um cabo passando no centro deste alvo, o que pode ter atrapalhado a marcação do alvo.

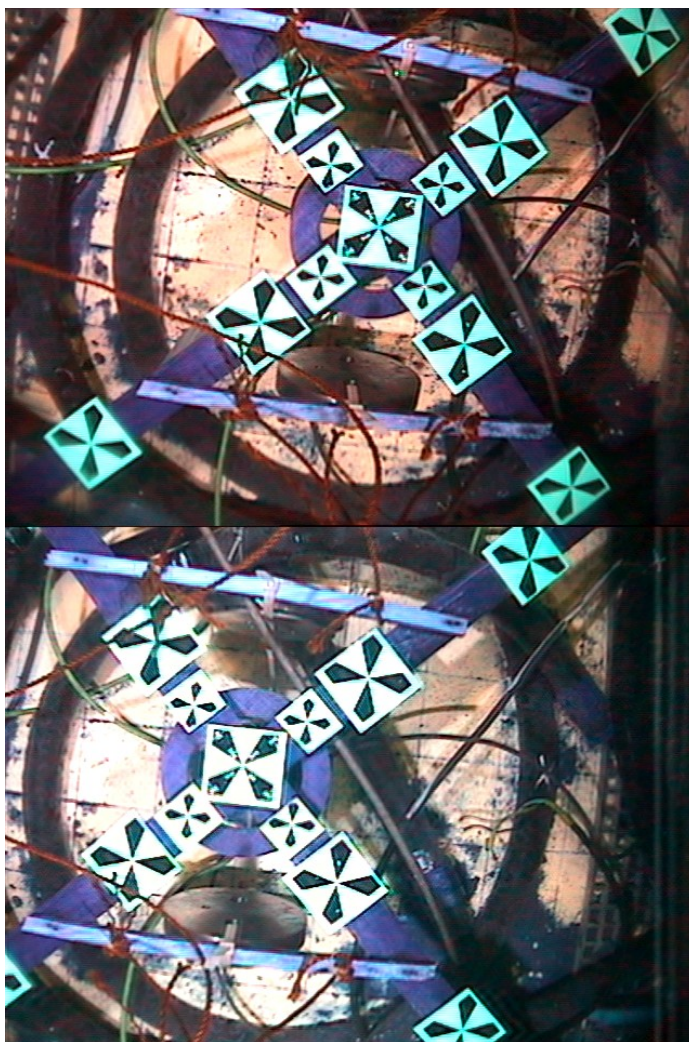


Figura 14 – Imagem 2: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras Hydratec.

Par de Imagens 3

Durante a análise da imagem 3, mostrada na Figura 15, percebemos que os alvos estão muito afastados dificultando a sua seleção, necessitando usar a função zoom. Também observamos que a imagem esquerda não está nítida. Contudo, os erros relativos não foram muito grandes.

Par de Imagens 4

O par de imagens 4 obtido com as câmeras da Hydratec foi descartado por apresentar baixa qualidade.

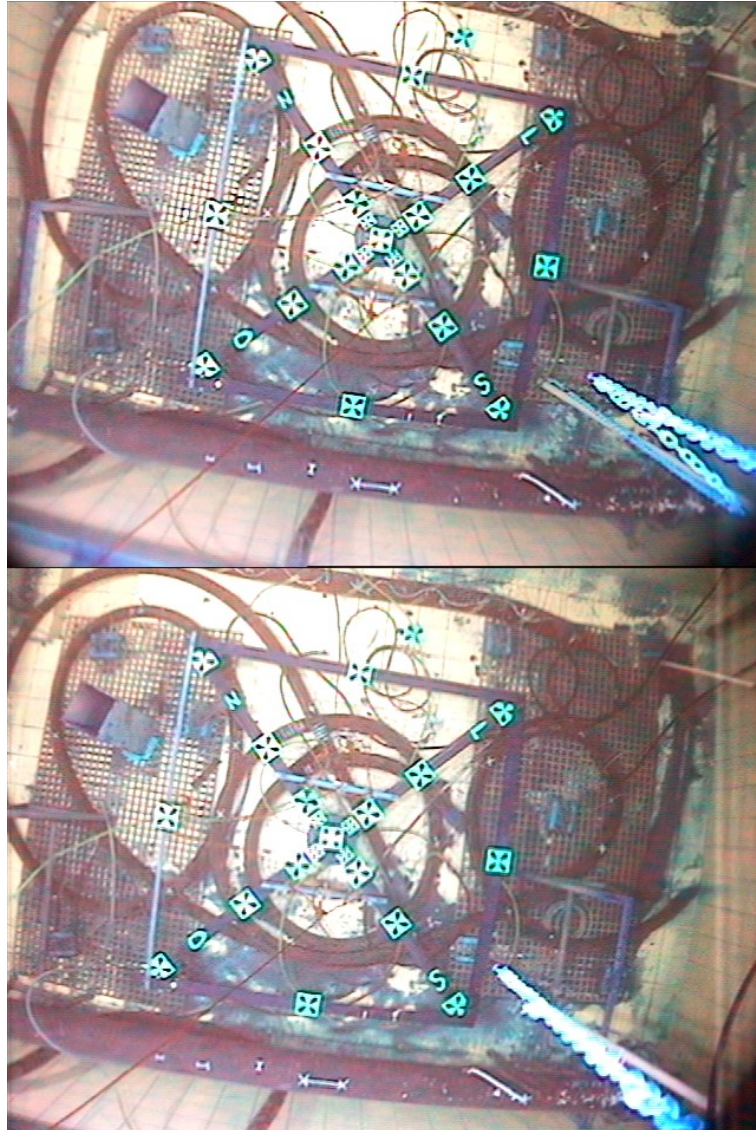


Figura 15 – Imagem 3: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras Hydratec.

Par de Imagens 5

A imagem 5, mostrada na Figura 16, está nítida, apesar de apresentar erros maiores de 1%. Estes erros ocorreram em pontos do ciclo 4, que estão muito próximos da borda da imagem (região com maior distorção das lentes).



Figura 16 – Imagem 5: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras Hydratec.

Par de Imagens 6

A imagem 6, mostrada na Figura 17, esta nítida, visualmente perfeita, e apresentou erros no qual consideramos pequenos, por estarem abaixo de 1%.



Figura 17 – – Imagem 6: esquerda (acima) e direita (abaixo) obtidas com as câmeras Hydratec.

Concluída a análise das imagens das câmeras da Hydratec e da Subsea, percebemos que a qualidade de algumas das imagens e posição dos alvos nelas podem ter influenciado os erros; porém, foram poucas as medições em que estes fatores foram significativos. Algumas destas medições foram descartadas.

A seguir serão feitas análises dos dados dos testes de validação do sistema, de modo a relacionar outros fatores (como a distância câmera-objeto, grid de calibração utilizado, etc.) aos erros médios das medições.

3.3 Análise dos dados do teste de validação no tanque do CENPES:

Para que possamos identificar que fatores também influenciam nos erros durante as medições, faremos análises dos dados medidos durante o teste de validação no tanque do

CENPES. Essas análises serão feitas separadamente considerando que cada fator pode ter sua parcela no erro individualmente, onde o resultado final seria influenciado pelo somatório das suas contribuições no erro medido.

3.3.1 Influência da distância do objeto às câmeras no erro de medição:

Apresentamos abaixo os gráficos do erro absoluto médio (em cm) em função da distância do objeto às câmeras (DCOBJ) considerando apenas as medições em que a distância do grid de calibração às câmeras (Prof. CALIBR.) era próxima a DCOBJ. Esta seleção dos dados foi feita para retirar o efeito da diferença das profundidades de calibração e de medição no erro. O erro absoluto médio foi calculado considerando a média dos erros absolutos de cada medida em relação ao tamanho do objeto (LOBJ).

Erro absoluto x DCOBJ – câmera Hydratec

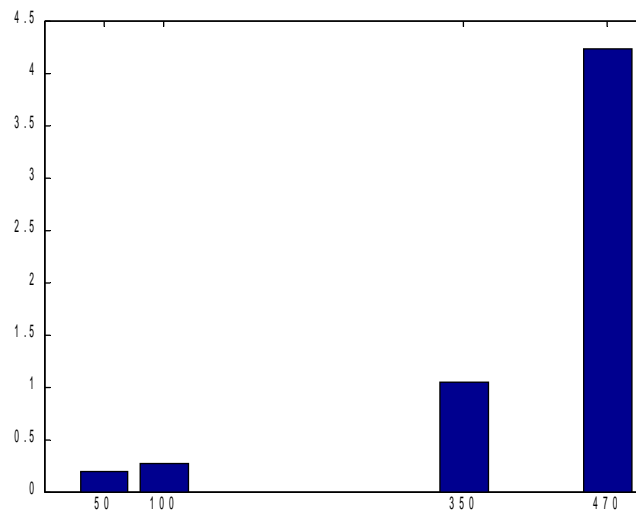


Figura 18 – Gráfico do erro absoluto médio (em cm) em função da distância do objeto às câmeras (DCOBJ)

Erro absoluto x DCOBJ – câmera SS7

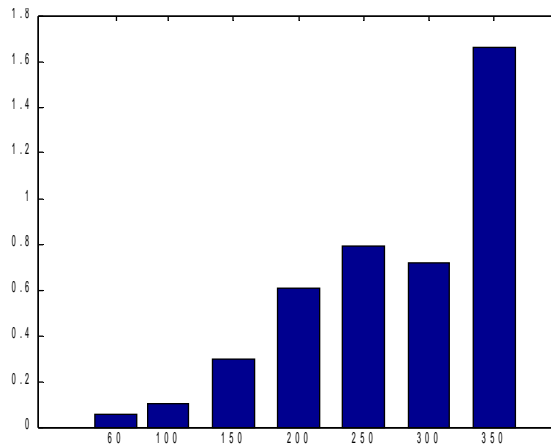


Figura 19 – Gráfico do erro absoluto médio (em cm) em função da distância do objeto às câmeras (DCOBJ)

Analisando os gráficos, podemos visualizar o aumento do erro absoluto com a distância do objeto às câmeras. Tal efeito se deve ao fato da precisão para medir objetos distantes diminuir com a distância, pois número de pixels por unidade de área diminuir com a profundidade. Uma observação interessante é que a partir de 300 o erro estabiliza. Para futuros “manuais de uso do sistema”, podemos incluir a informação de que abaixo do valor DOBJ=300 haverá um maior controle sobre os erros, apresentando uma margem de erro absoluto médio de até 1 cm.

Fazendo uma comparação entre os valores encontrados do erro absoluto em função da distância do objeto às câmeras da Hydratec e da Subsea. Encontramos o seguinte resultado.

SS7 (vermelho) x Hydratec (azul)

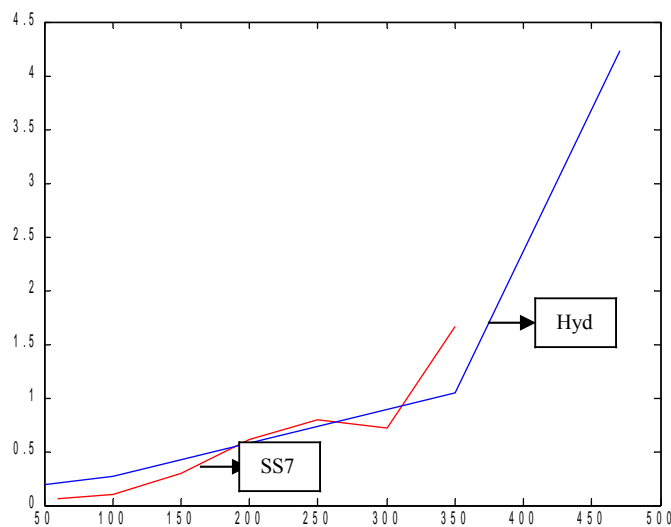


Figura 20 – Gráfico dos resultados obtidos com as câmeras Hydratec e SS7.

As câmeras da Subsea apresentam mesma resolução (número total de pixels) que as da Hydratec, e ângulo de abertura menor. Portanto, esperávamos obter erros menores para profundidades maiores com as câmeras da Subsea, o que não ocorreu para todas as profundidades (por exemplo, para DCOBJ=350, o erro absoluto médio obtido com as câmeras SS7 é maior do que o obtido com as da Hydratec). Por outro lado esse resultado não esperado pode ser consequência de termos calculado os erros usando poucas medições ou até mesmo termos utilizado a imagem 9 para calcular o erro médio para DCOBJ = 350 e esta estar fora de foco. O gráfico abaixo mostra o erro relativo em função de DCOBJ.

Câmeras Hydratec

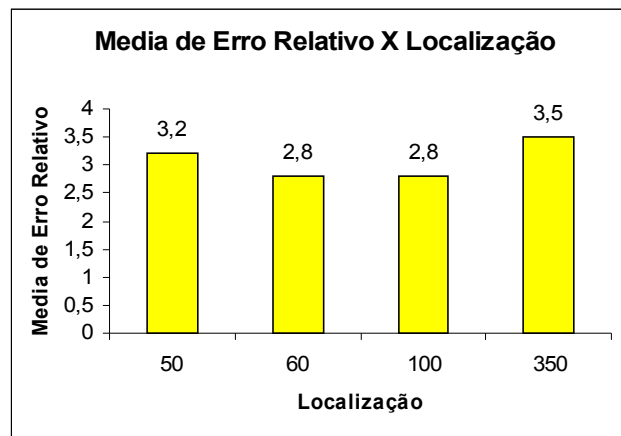


Figura 21 – Gráfico do erro relativo médio (em cm) em função da distância do objeto (DCOBJ) às câmeras Hydratec.

Câmeras Subsea

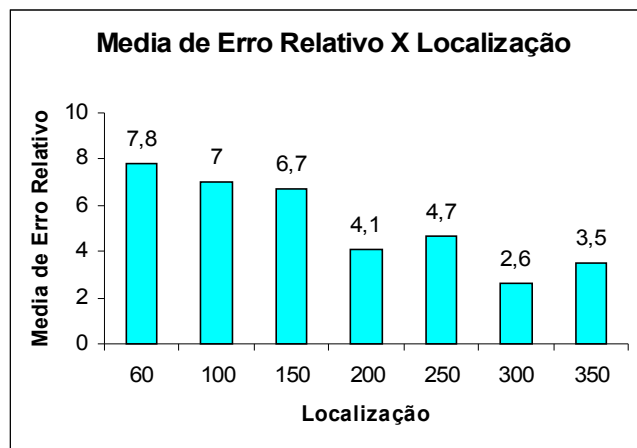


Figura 22 – Gráfico do erro relativo médio (em cm) em função da distância do objeto (DCOBJ) às câmeras SS7.

Apesar dos erros absolutos aumentarem com DCOBJ, os erros relativos em geral diminuem, já que em profundidades grandes somente são feitas medidas grandes (LOBJ). O erro de 3,5 com DCOBJ=350 ocorreu devido a duas das medições a Leste terem sido altas, resultando em medições de LOBJ entre 21 e 22 cm, sendo o valor correto igual a 20 cm. Uma observação importante é que para estes pontos temos poucas medições.

Nas câmeras SS7 os pontos que saem do padrão no gráfico são os correspondentes a DCOBJ =250, com erro relativo de 4,7%, e a DOBJ=350, com erro relativo igual a 3,5%. As características em comum destas medições são: LOBJ=10 cm, os pontos encontram-se no ciclo 3, e a calibração foi realizada com o grid grande.

3.3.2 Influência da dimensão do objeto no erro de medição:

Apresentamos abaixo os gráficos dos erros absolutos e relativos em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ), obtidos com as câmeras da Hydratec e da Subsea. O erro absoluto foi calculado fazendo a diferença da média das medições e do valor correto. Usamos somente as medidas das imagens 1 a 6, pois a imagem 9 estava fora de foco.

Podemos observar nos gráficos das Figuras 23 e 24 o aumento do erro absoluto com relação à dimensão do objeto. Tal efeito deve-se ao fato de objetos maiores terem sido medidos a profundidades maiores e, portanto, com menor resolução nas imagens.

Câmeras Hydratec

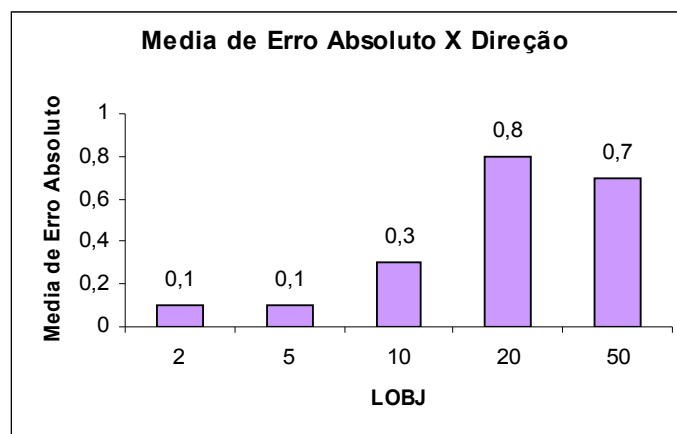


Figura 23 – Gráfico do erro absoluto em relação a dimensão do objeto medido (LOBJ) com câmeras

Hydratec.

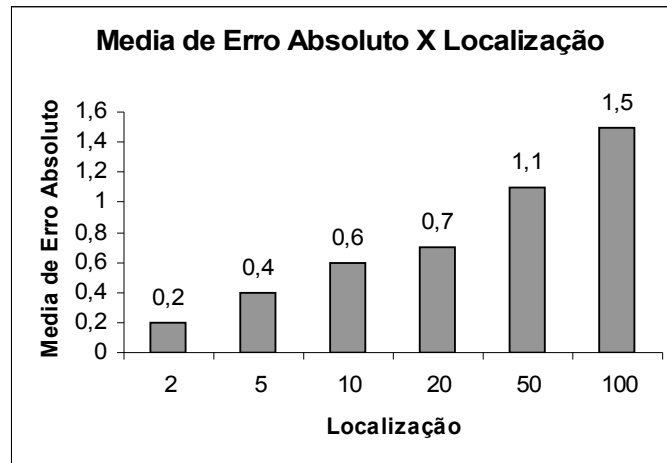


Figura 24 – Gráfico do erro absoluto em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ) com câmeras SS7.

Ao contrário dos erros absolutos verificamos que os erros relativos diminuem com LBOJ, já que o efeito da redução na resolução não foi tão acentuado em relação ao aumento na dimensão do objeto medido, como podemos ver nas Figuras 25 e 26.

Se fizermos uma comparação das câmeras, veremos que os resultados dos erros obtidos com as câmeras da Subsea são similares aos obtidos com os da Hydratec, como no caso do gráfico da Figura 20.

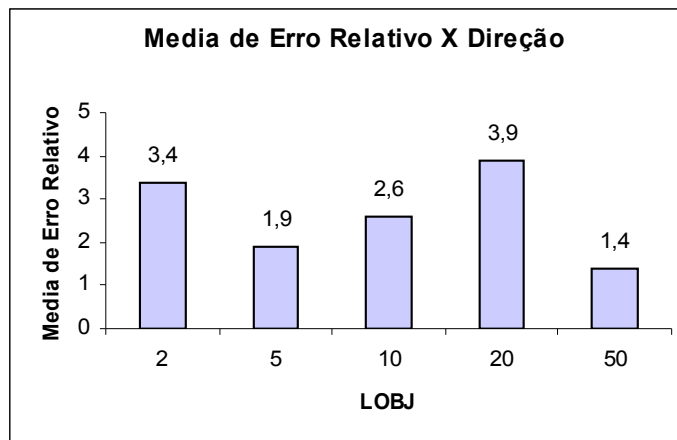


Figura 25 – Gráfico do erro relativo em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ), com câmeras Hydratec.

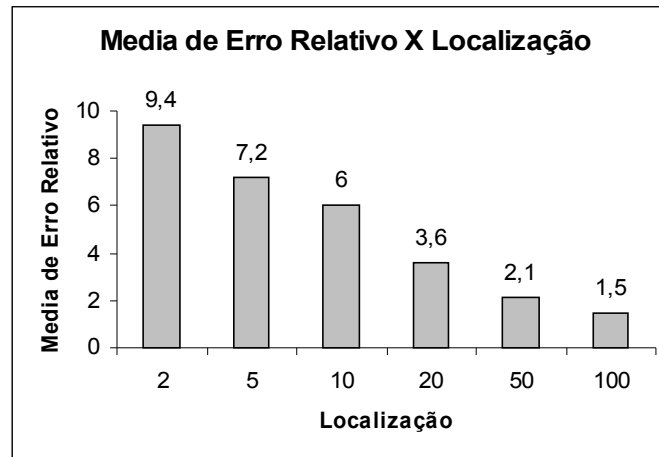


Figura 26 – Gráfico do erro relativo em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ), com câmeras SS7.

3.3.3 Influência do grid no erro de medição:

A seguir apresentamos os erros obtidos com os diferentes grids de calibração para as medidas com as câmeras da Subsea, pois as medições com todos os grids foram feitas somente com essas câmeras.

Deve-se observar nos gráficos abaixo, que os erros relativos para baixas localizações (LOBJ) são significativamente maiores utilizando as calibrações com os grids grande e gigante que os erros obtidos com o grid pequeno. Como podemos observar nas Figuras 27, 29, 31 respectivamente.

Para Localização (LOBJ) maiores que 10 cm, os erros são aproximadamente iguais para todos os grids.

Grid Gigante

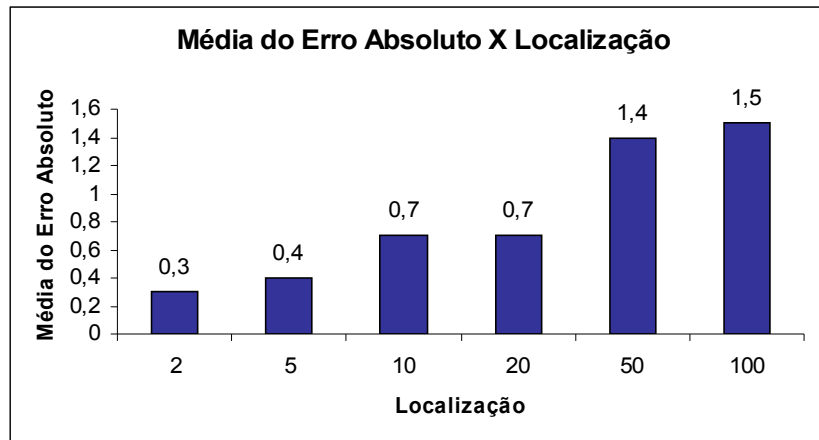


Figura 27 – Gráfico dos erro absoluto em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ) com câmeras SS7, utilizando grid Gigante.

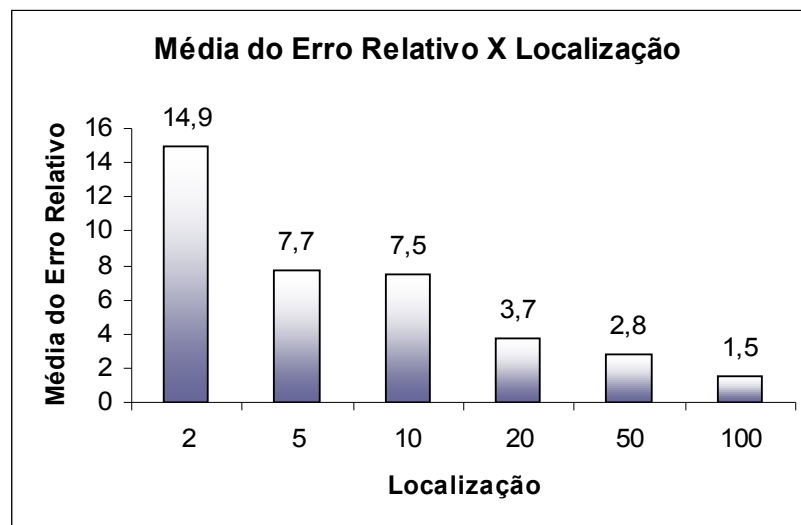


Figura 28 – Gráfico do erro relativo em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ), com câmeras SS7 utilizando grid Gigante.

Grid Grande

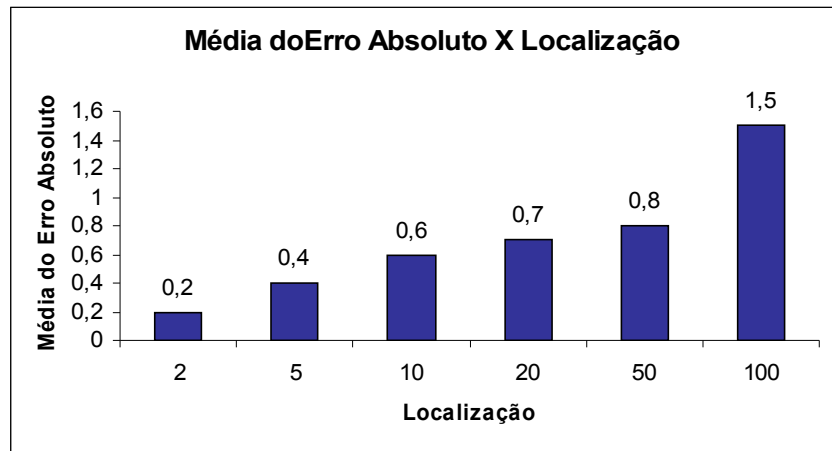


Figura 29 – Gráfico do erro absoluto em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ) com câmeras da SS7, utilizando grid Grande.

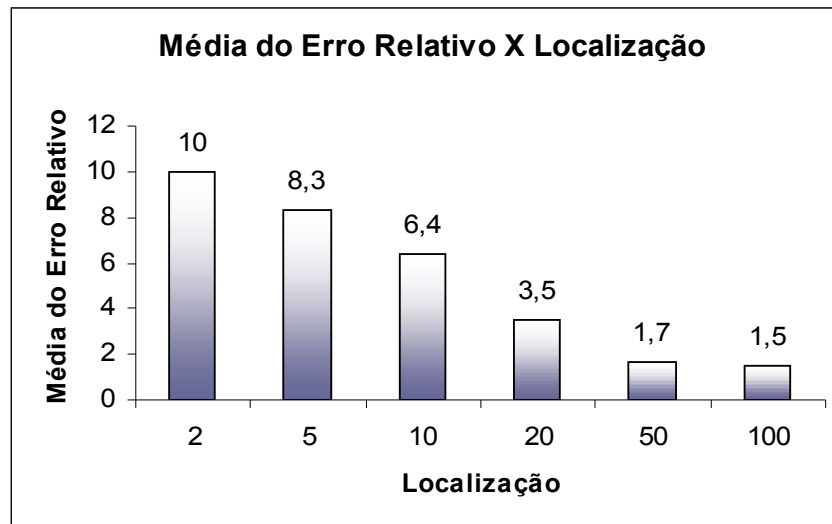


Figura 30 – Gráfico do erro relativo em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ) com câmeras SS7, utilizando grid Grande.

Grid Pequeno

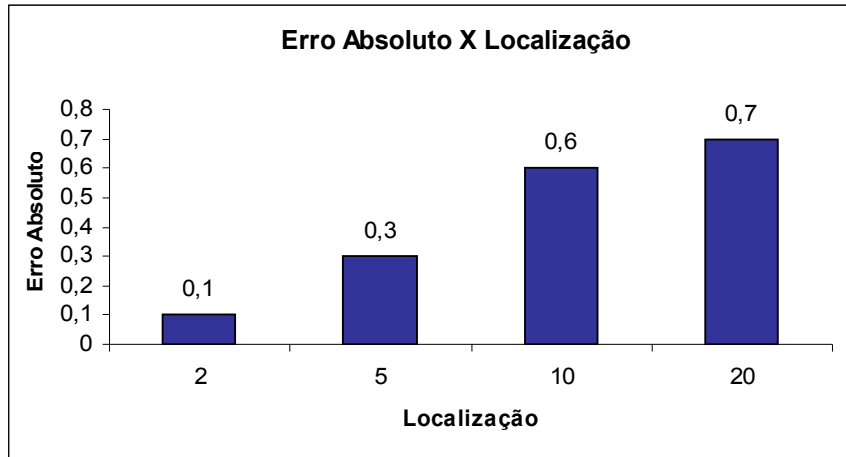


Figura 31 – Gráfico do erro absoluto em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ) com câmeras SS7, utilizando grid pequeno.

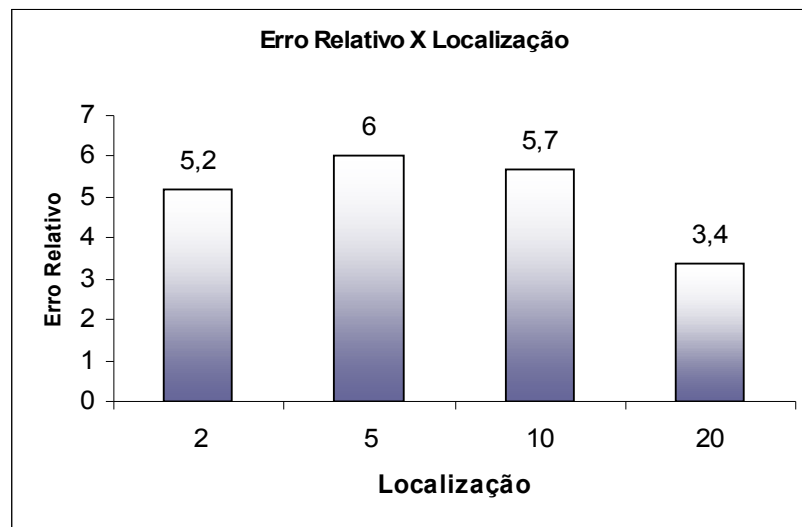


Figura 32 – Gráfico do erro relativo em relação à dimensão do objeto medido (LOBJ) com câmeras SS7, utilizando grid pequeno.

3.3.4 Influência da direção no erro de medição:

Os gráficos abaixo apresentam os erros relativos e absolutos obtidos para as diferentes direções (Norte, Sul, Leste e Oeste), com as câmeras Hydratec e Subsea.

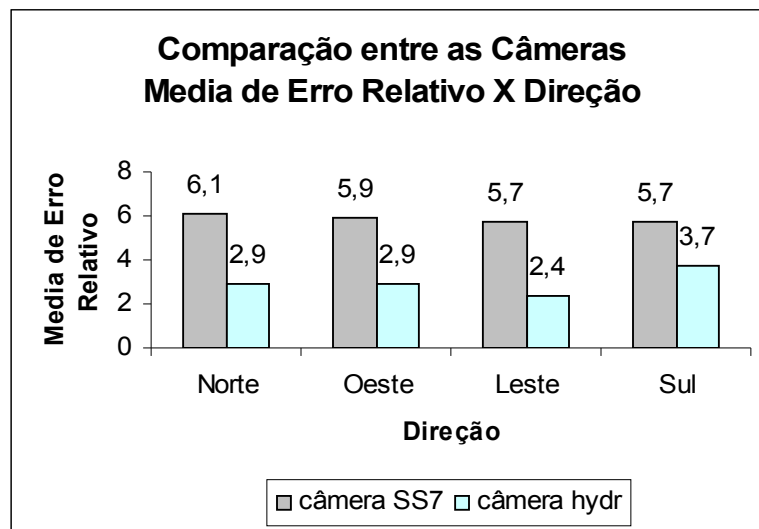


Figura 32 – Gráfico dos erros relativos para as diferentes direções (Norte, Sul, Leste e Oeste), com as câmeras Hydratec e SS7.

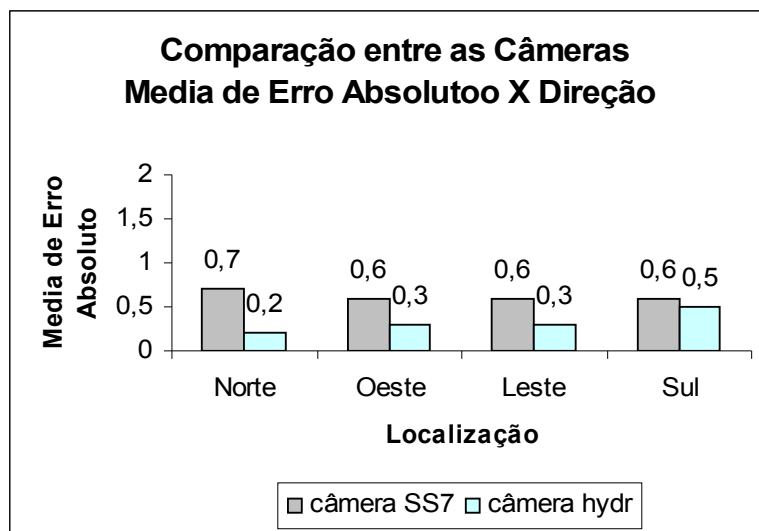


Figura 33 – Gráfico dos erros absolutos para as diferentes direções (Norte, Sul, Leste e Oeste), com as câmeras Hydratec e SS7.

Os erros absolutos e relativos médios com as câmeras da Hydratec são menores do que com as câmeras da Subsea para todas as direções. Por terem um ângulo menor, espera-se que as medições da Subsea sejam mais precisas.(sendo iguais todos os demais fatores) provavelmente, mais medições com a hydratec irão mostrar isto mesmo.

Na direção Leste, foi onde encontramos o menor erro relativo com as câmeras da Hydratec, já no erro absoluto o menor erro se encontra na direção Norte também com as câmeras da Hydratec.

3.3.5 Influência do usuário no erro de medição:

Para verificarmos a influência do usuário do sistema nos erros das medições, foi feito o gráfico abaixo, que mostra o erro relativo médio obtido para cada usuário. As siglas no gráfico correspondem aos seguintes usuários:

1. MA: Mariane
2. PE: Antonio Petraglia
3. ES: Estevan
4. GE: Geraldo
5. ZI: Zigma
6. RI: Ricardo
7. GA: José Gabriel
8. AD: Adriana

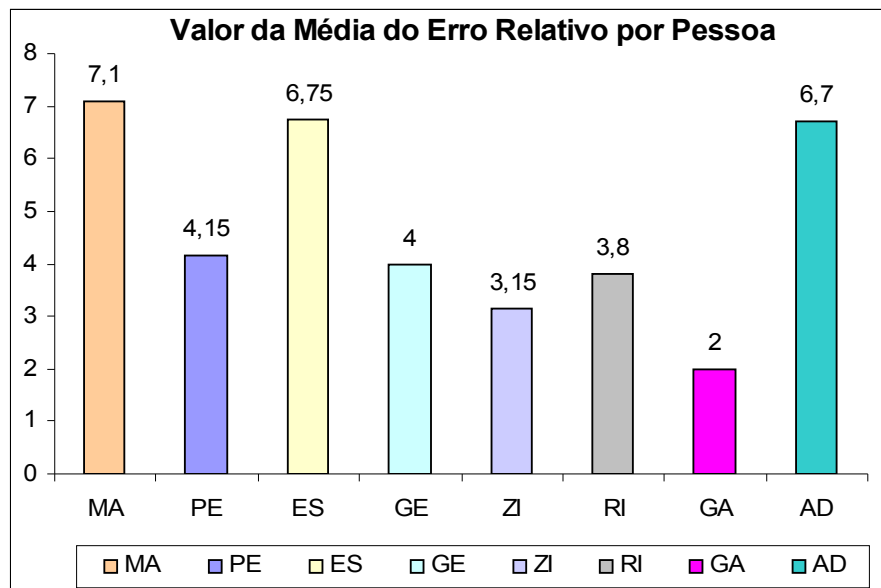


Figura 34(a) – Gráfico dos erros relativos médios obtidos para cada usuário.

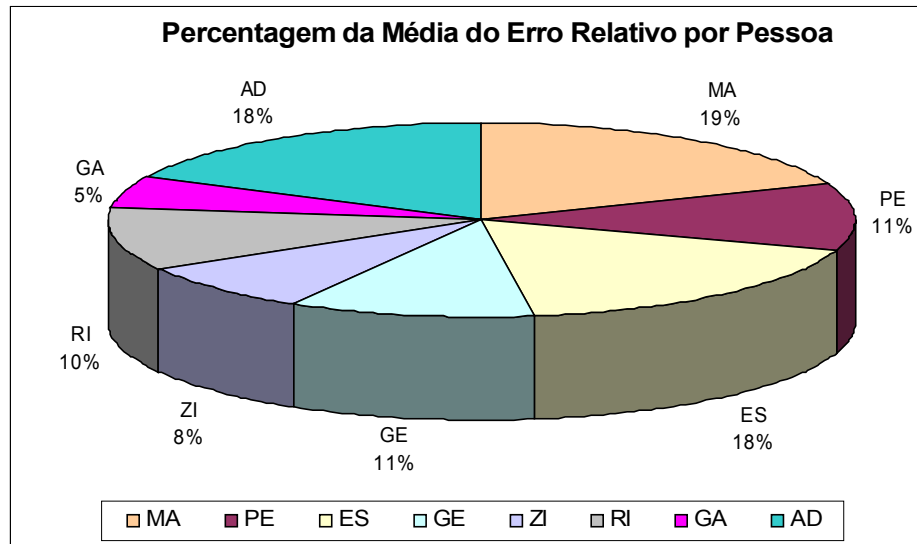


Figura 34(b) – Gráfico dos percentual dos erros relativos médios obtidos para cada usuário.

Analisando o gráfico fizemos as seguintes observações:

Quatro (PE, GE, ZI, RI) dos oito usuários ficaram com média de Erro Relativo por volta de 3 a 4 %. Podemos observar que essas pessoas foram as que mais tiveram pontos medidos.

Os três usuários (MA,ES,AD) que obtiveram erros relativos acima de 6,7% fizeram menos medições que os demais. As medições realizadas por estes usuários foram de objetos de dimensões pequenas, o que justifica o aumento do erro relativo.

Apenas o usuário GA teve erro significativamente mais baixo, 2%, sendo que este usuário apresenta a característica de ser muito cuidadoso durante o uso do sistema.

3.3.6 Influência da inclinação no erro de medição:

Os gráficos abaixo apresentam os erros absolutos e relativos obtidos fazendo medições em uma régua com diferentes ângulos (0° , 30° , 60° e 90°) de inclinação, com as câmeras Hydratec.

Ângulo 0°

O que se observa nos gráficos abaixo é que os erros absolutos médios com zero graus de inclinação crescem rapidamente quando a localização (LOBJ) aumenta. Os valores dos erros relativos e absolutos são altos quando a distância é grande. Este resultado era esperado já que para esta posição da régua os pontos nas diferentes profundidades estão concentrados numa região pequena em cada imagem e que está representada por um número pequeno de *pixels*.

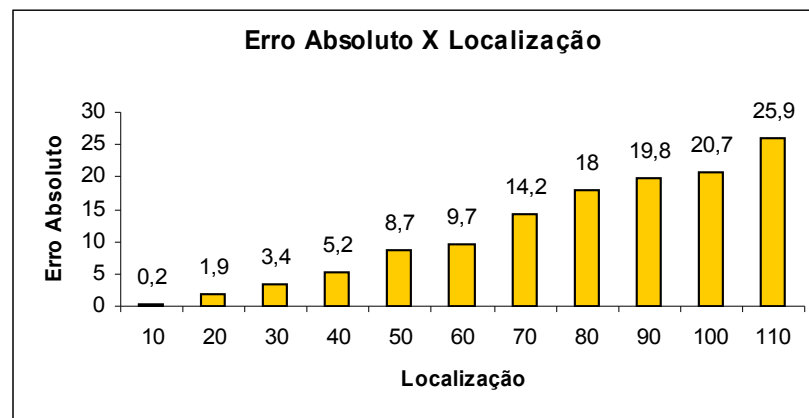


Figura 35 – Gráfico dos erros absolutos médios por localização (LOBJ), com zero graus de inclinação.

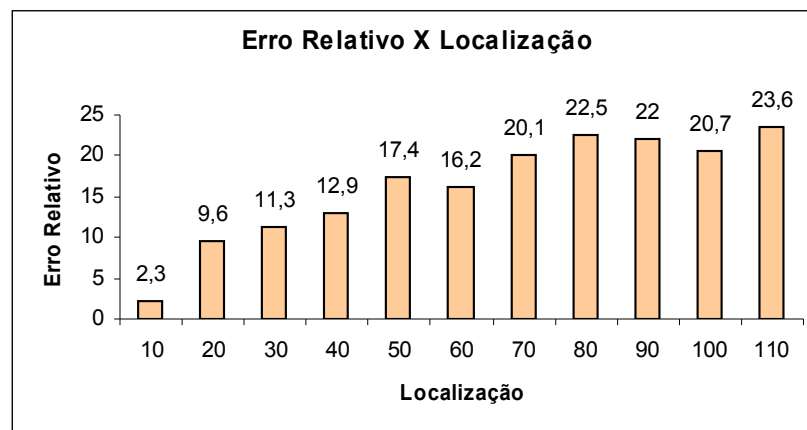


Figura 36 – Gráfico dos erros relativo médios por localização (LOBJ), com zero graus de inclinação .

Ângulo 30°

Já com a régua posicionada a um ângulo de 30 graus, os erros absolutos médios tendem a crescer para medições maiores que 30 cm, sendo o aumento bem menor em relação às medições com a régua a 0 graus. Nesta nova posição os pontos estão mais espalhados em cada imagem, resultando em erros relativos menores que 10%. A medida em que o ponto medido se afasta, o erro de medição aumenta, já que o número de pixels por unidade de área é menor para imagens mais afastadas das câmeras.

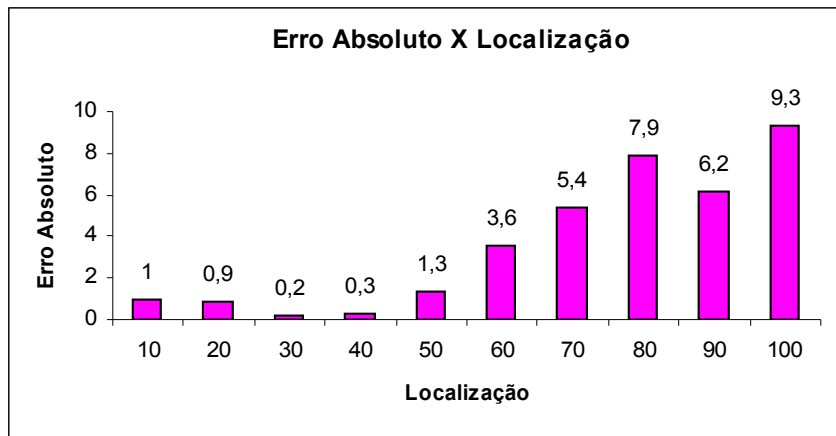


Figura 37 – Gráfico dos erros absolutos médios por localização (LOBJ), com 30 graus de inclinação .

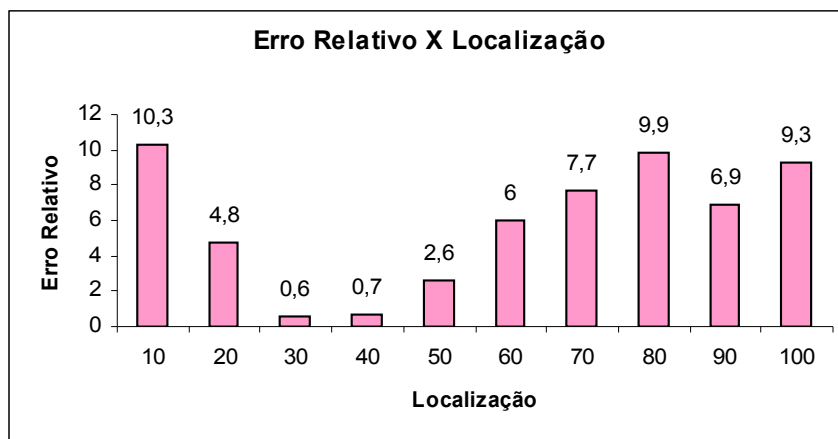


Figura 38 – Gráfico dos erros relativos médios por localização (LOBJ), com 30 graus de inclinação .

Ângulo 60°

As medidas feitas com a régua posicionada a 60 graus apresentam erros menores do que as obtidas com 0 e 30 graus. Nesta imagem os pontos (principalmente os mais afastados) estão mais bem representados nas imagens. Os erros relativos médios ficaram abaixo de 7,2%.

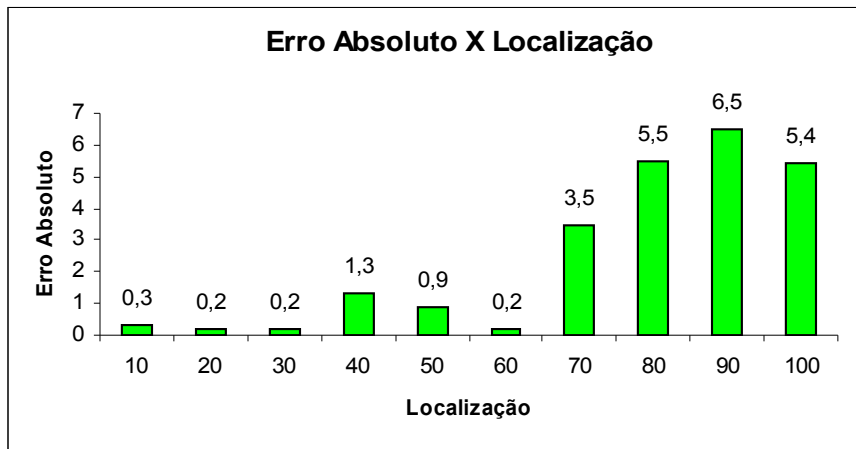


Figura 39 – Gráfico dos erros absolutos médios por localização (LOBJ), com 60 graus de inclinação .

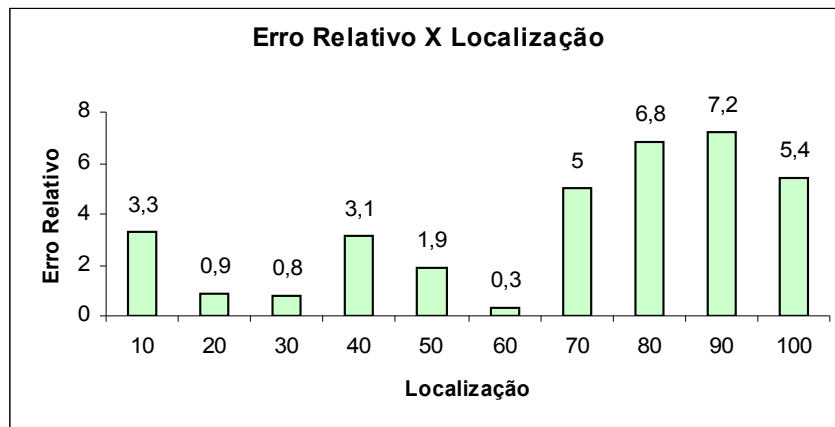


Figura 40 – Gráfico dos erros relativos médios por localização (LOBJ), com 60 graus de inclinação .

Ângulo 90°

Os erros absolutos e relativos médios obtidos com a régua posicionada a 90 graus são ainda menores do que os obtidos com as outras posições da régua, conforme já era esperado. Os erros relativos são bem pequenos (menores que 1%) para medidas grandes (acima de 50 cm). Os objetos medidos agora estão todos a uma mesma distância das câmeras, não aparecendo mais o efeito da redução da resolução (número de pixels por unidade de área).

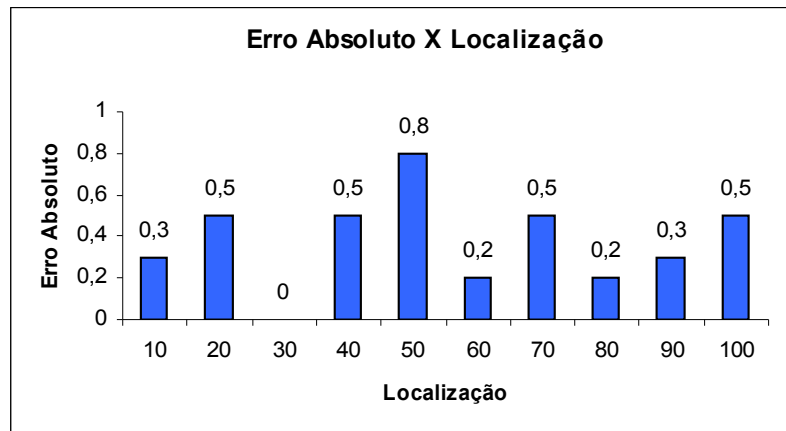


Figura 41 – Gráfico dos erros absoluto médios por localização (LOBJ), com 90 graus de inclinação .

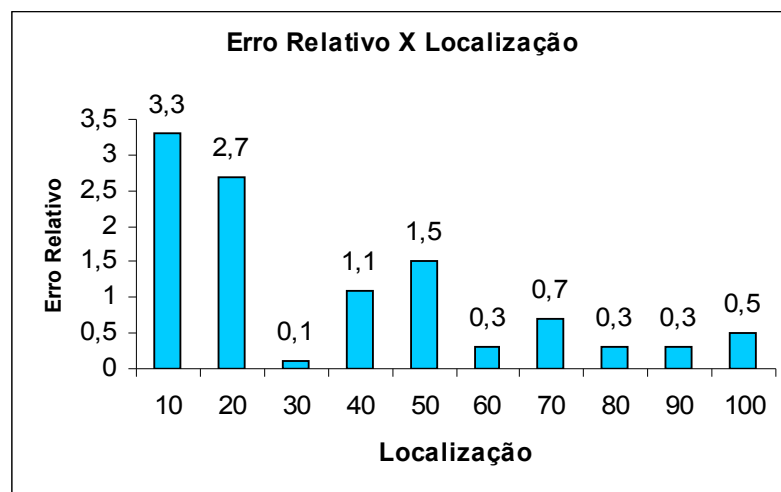


Figura 42 – Gráfico dos erros relativos médios por localização (LOBJ), com 90 graus de inclinação .

As conclusões anteriores podem ser melhor visualizadas nos gráficos abaixo, que apresentam os erros absolutos para as quatro posições da régua.

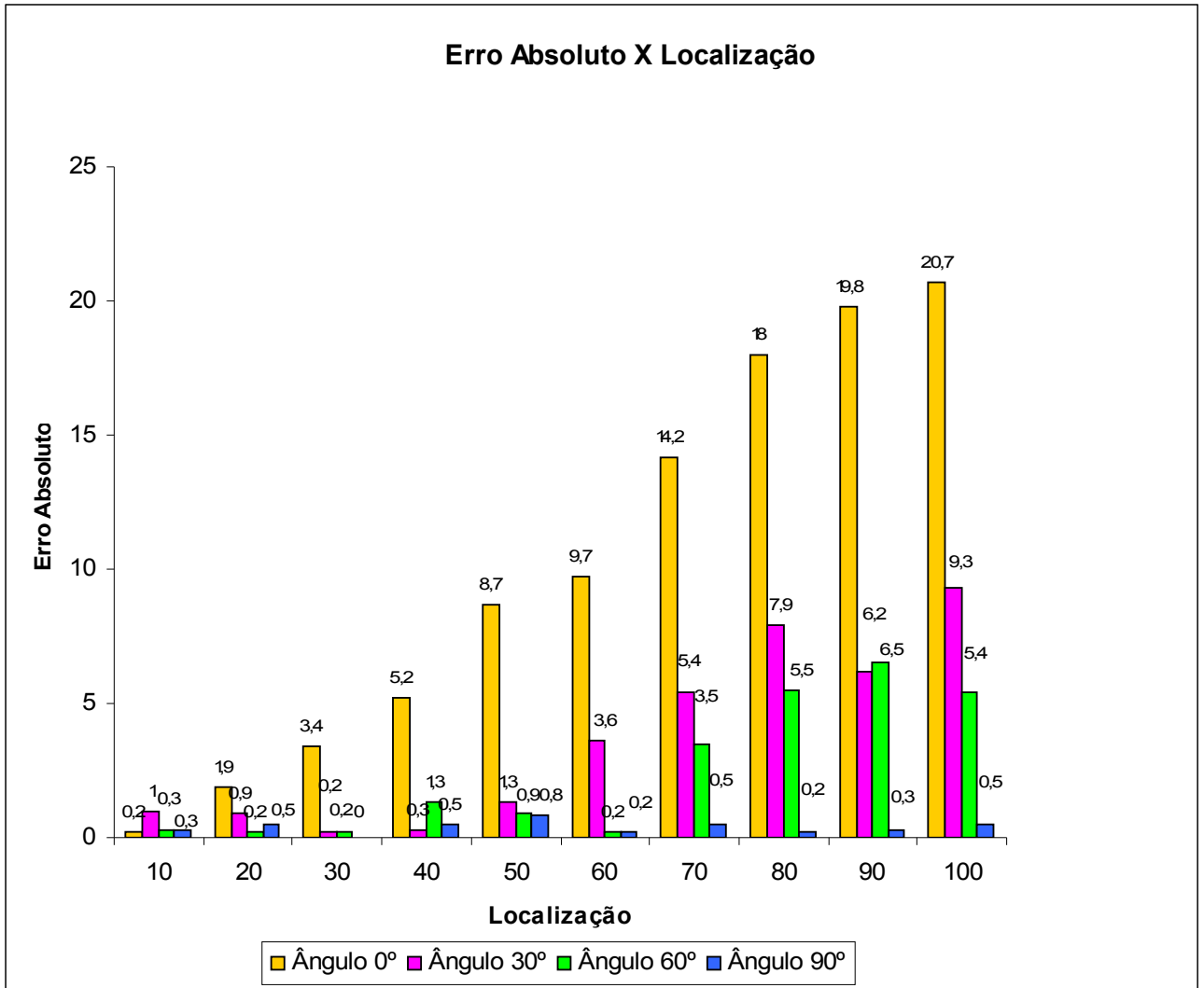


Figura 43 – Gráfico dos erros absolutos médios por localização (LOBJ), com todos os graus de inclinação.

3.3.7 Influência da inclinação no Desvio Padrão das medidas:

Os gráficos abaixo apresentam os desvios padrões das medidas realizadas com a régua para diferentes ângulos (0°, 30°, 60° e 90°) de inclinação, com as câmeras Hydratec.

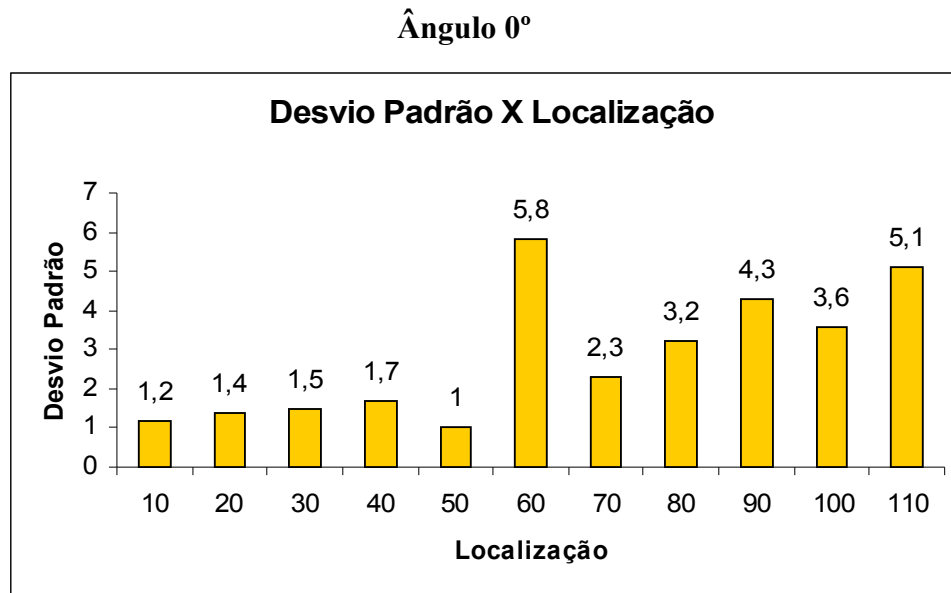


Figura 44 – Gráfico do desvio padrão da medida realizada com a régua para ângulos 0° inclinação.

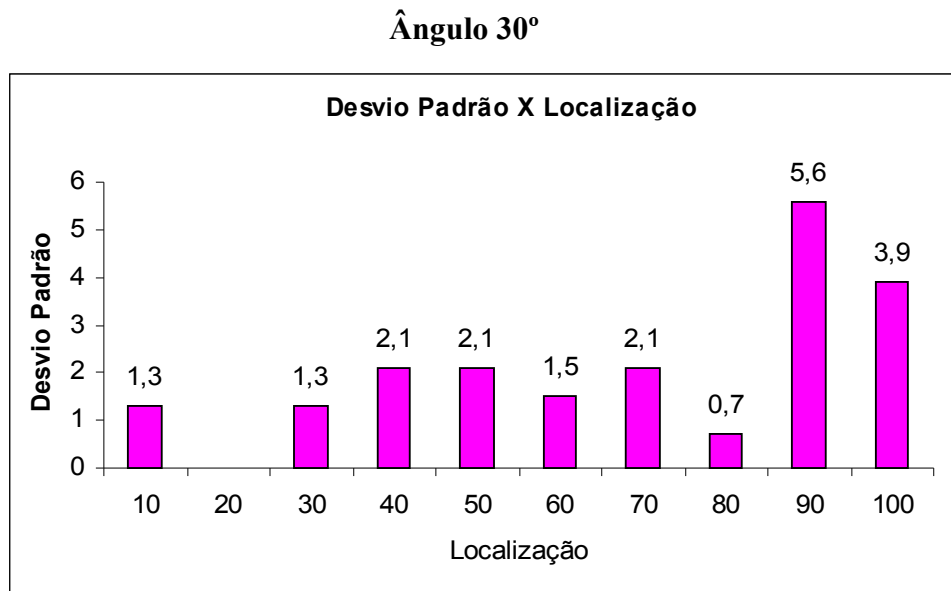


Figura 45 - Gráfico do desvio padrão da medida realizada com a régua para ângulos 30° inclinação

Ângulo 60°

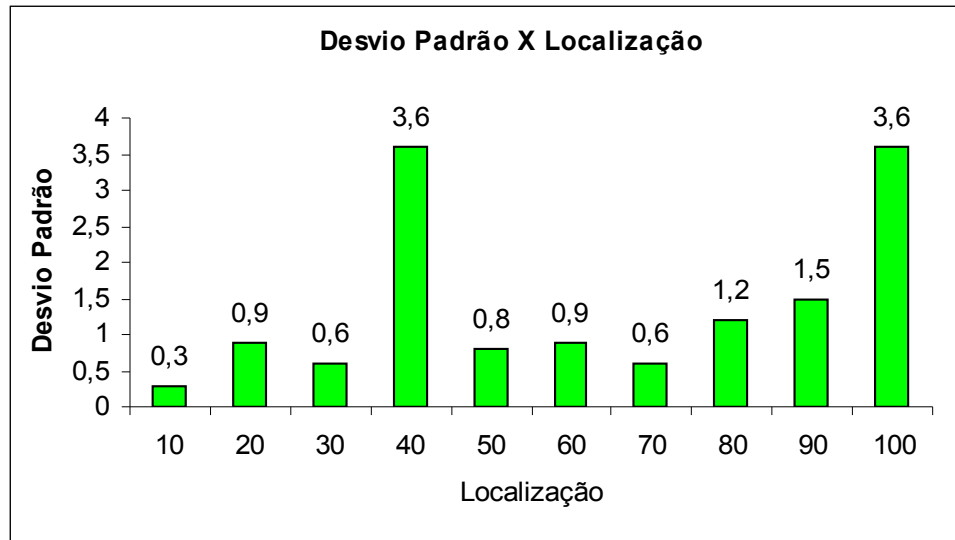


Figura 46 – Gráfico do desvio padrão da medida realizada com a régua para ângulos 60° inclinação

Ângulo 90°

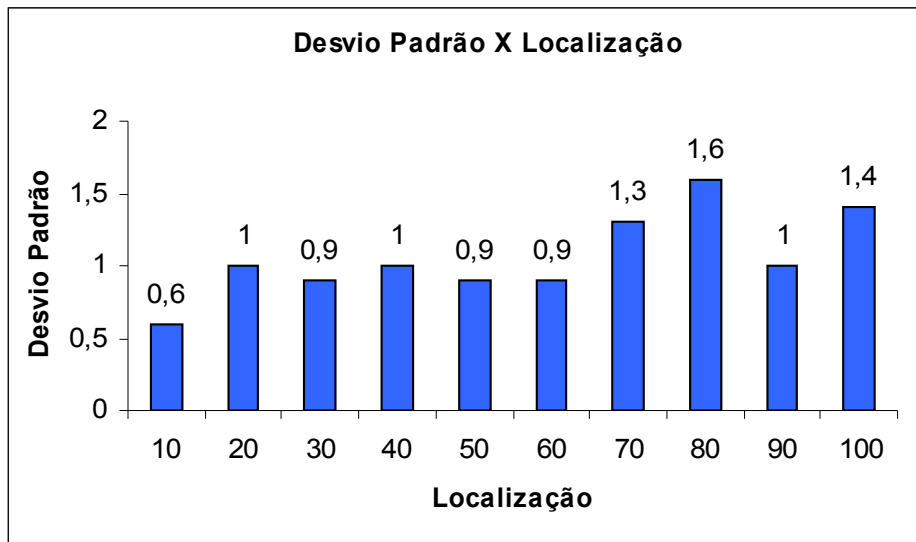


Figura 47 – Gráfico do desvio padrão da medida realizada com a régua para ângulos 90° inclinação

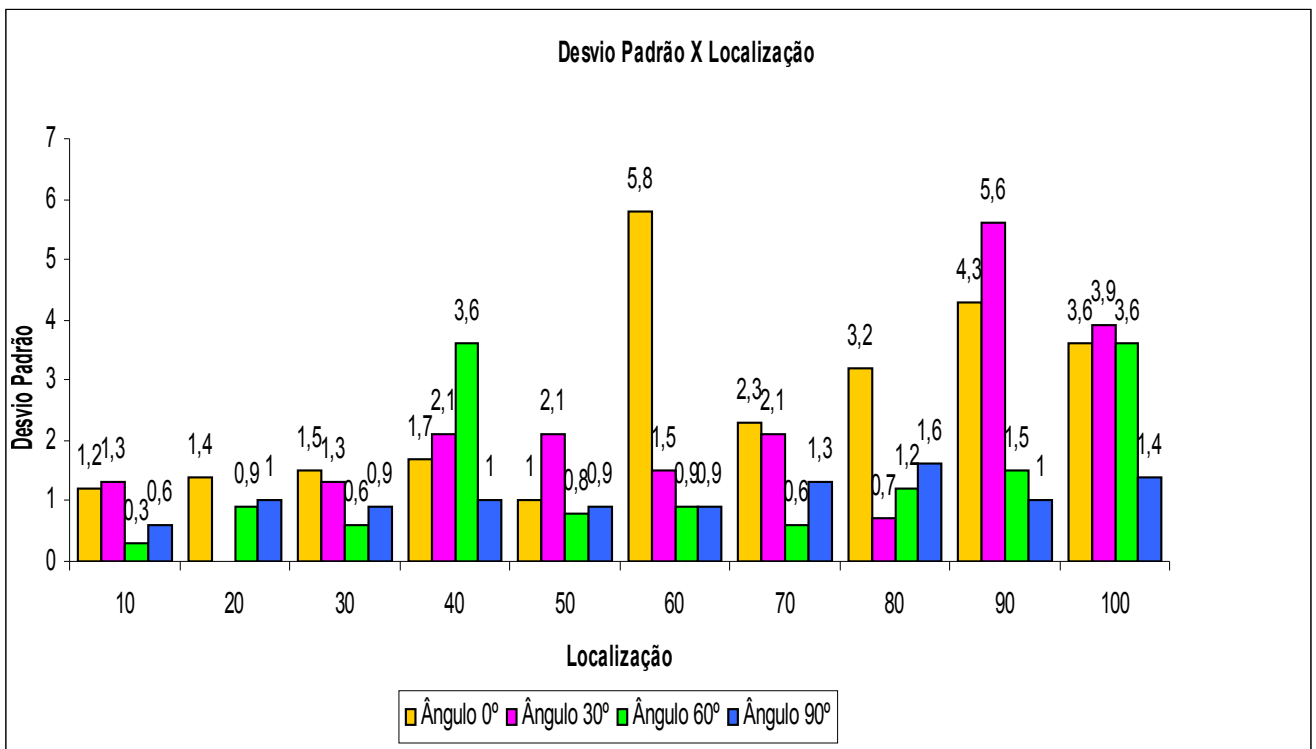


Figura 48 – Gráfico dos desvios padrões das medidas realizadas com a régua para todos os ângulos de inclinação. Na ilustração os ângulos se encontram na seguinte ordem: 0°, 30°, 60° e 90°, para cada localização.

Podemos observar que melhores medições para medidas grandes (90 e 100 cm) devem ser feitas a 90 graus, pois é quando se obtém os menores desvios padrões.

4. Conclusão

Durante a análise pudemos verificar a grande influência da qualidade das imagens nos erros, pois em muitas imagens podemos perceber a existência de pontos muito afastados dificultando uma boa medição, necessitando de aproximação das imagens, e com isso tirando a nitidez das imagens; outras, mesmo sem usar a ferramenta de aproximação, já não possuem uma boa nitidez e estão embaçadas, o que pode induzir o usuário do sistema ao erro na hora da seleção dos pontos. Tendo visto que a qualidade das imagens em geral não foi o principal fator influenciador dos erros, resolvemos continuar analisando outros fatores, como distância do objeto às câmeras, inclinações, dentre outros que seguem abaixo.

Ao analisar a influência da distância do objeto às câmeras no erro de medição pode-se dizer que verificamos o aumento do erro absoluto com a distância do objeto às câmeras. Tal efeito se deve ao fato de a resolução das imagens (número de pixels por unidade de área) diminuir com a profundidade. Comparando as câmeras, elas apresentam mesma resolução (número total de pixels), porém a da Hydratec apresenta um ângulo de abertura menor. Com isso esperávamos obter erros menores para profundidades maiores com as câmeras da Subsea, o que não ocorreu para todas as profundidades. Apesar dos erros absolutos aumentarem com DCOBJ, os erros relativos em geral diminuem, já que em profundidades grandes somente são feitas medidas grandes.

A dimensão do objeto influenciou no aumento do erro absoluto; tal efeito deve-se ao fato de objetos maiores terem sido medidos a profundidades maiores e, portanto, com menor resolução nas imagens. Ao contrário dos erros absolutos, verificamos que os erros relativos diminuem com LBOJ, já que o efeito da redução na resolução não foi tão acentuado em relação ao aumento na dimensão do objeto medido.

Quanto à influência do grid observamos que os erros relativos para baixas localizações (LOBJ) são significativamente maiores utilizando as calibrações com os grids grande e gigante que os erros obtidos com o grid pequeno. E para localização (LOBJ) maiores que 10 cm, os erros são aproximadamente iguais para todos os grids.

Quanto à influência da direção no erro de medição, verificamos que a direção sul é a que mais afeta no erro na câmera da Hydratec, porém na câmera da Subsea a pior direção é a norte onde o erro permanece mais elevado.

O usuário foi outro fator analisado e talvez seja o mais importante, pois sua falta de atenção, ou falta de cuidado durante as medições, pode elevar em muito os erros, como foi verificado durante a análise. Quatro dos oito usuários ficaram com média de erro relativo por volta de 3 a 4%. Podemos observar que essas pessoas foram as que mais tiveram pontos medidos. Os três usuários que obtiveram erros relativos acima de 6,7% fizeram menos medições que os demais. As medições realizadas por estes usuários foram de objetos de dimensões pequenas, o que justifica o aumento do erro relativo. Apenas um usuário obteve erros significativamente mais baixos, com valor médio em torno de 2%, sendo que este usuário apresentou a característica de ser muito cuidadoso durante o uso do sistema.

A influência da inclinação depende do ângulo que a régua está posicionada, para o ângulo zero verificamos que os erros crescem rapidamente quando a localização (LOBJ) aumenta. Os valores dos erros relativos e absolutos são altos quando a distância é grande. Este resultado era esperado já que para esta posição da régua os pontos nas diferentes profundidades estão concentrados numa região pequena em cada imagem e que está representada por um número pequeno de pixels.

Já com a régua posicionada a um ângulo de 30 graus, os erros absolutos médios tendem a crescer para medições maiores que 30 cm. A medida em que o ponto medido se afasta, o erro de medição aumenta, já que o número de pixels por unidade de área é menor para imagens mais afastadas das câmeras.

As medidas feitas com a régua posicionada a 60 graus apresentam erros menores do que as obtidas com 0 e 30 graus. E como nos outros ângulos a cima de 60 graus os erros aumentam. Os erros relativos médios ficaram abaixo de 7,2%.

Os erros absolutos e relativos médios obtidos com a régua posicionada a 90 graus são ainda menores do que os obtidos com as outras posições da régua, conforme já era esperado. Os erros relativos são menores que 1% para medidas acima de 50 cm. Os objetos medidos agora estão todos a uma mesma distância das câmeras, não aparecendo mais o efeito da redução da resolução (número de pixels por unidade de área).

As melhores medições para medidas grandes (90 e 100 cm) devem ser feitas a 90 graus, pois é quando se obtém os menores desvios padrões.

5. Referências Bibliográficas

- [1] SILVA, L. C., PETRAGLIA, A., PETRAGLIA, M. R. “Supervisão e Dimensionamento Remotos Utilizando Visão Estéreo”. In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Automática, pp. 1826-1831, Florianópolis, SC, Brasil, Set., 2000.

- [2] SILVA, L. C., PETRAGLIA, A., PETRAGLIA, M. R., “Stereo Vision System for Real Time Inspection and 3D Reconstruction”. In: IEEE International Symposium on Signal Processing and Its Applications, Paris, França, Jul., 2003.

- [3] SILVA, L. C., PETRAGLIA, A., PETRAGLIA, M. R. “Stereo Vision System for Remote Monitoring and 3-D Reconstruction”. In: International Symposium on Industrial Electronics, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Jun., 2003.

- [4] LENILDO CARQUEIJA SILVA, “Método Robusto para Calibração de Câmeras em Estereofotogrametria”, Tese de doutorado, COPPE/UFRJ, Agosto de 2003.