

5 Resultados

Este capítulo irá apresentar os testes realizados para validar o trabalho. Os primeiros testes serão realizados utilizando um círculo vermelho como objeto alvo. Para os testes seguintes, será utilizada uma imagem de um painel de válvulas típico de intervenções submarinas.

Devido à presença de *encoders* acoplados aos motores, é possível determinar a posição de cada elo em tempo real, mesmo que estes valores não tenham sido utilizados no algoritmo de controle. Assim, para cada experimento realizado, será traçado um gráfico da posição das juntas em relação ao tempo.

Os testes são divididos em quatro etapas: as duas primeiras utilizando o círculo vermelho e as duas últimas utilizando o painel. Para ambos os casos será avaliado o “posicionamento frontal” (onde a câmera visualiza o alvo com o eixo óptico da câmera alinhado ao centro do objeto), e o “posicionamento lateral” em relação ao alvo (onde a câmera avista ou uma parte do objeto, ou a lateralmente utilizando a rotação da câmera).

Durante os testes com o painel, percebeu-se que o tempo de processamento do algoritmo SIFT crescia muito com o tamanho da imagem. O controle servo-visual depende da frequência do processamento da imagem para enviar os torques aos motores. Inicialmente foram utilizadas imagens de 960 x 720 pixels, porém nesta resolução o tempo de processamento do algoritmo SIFT era em média 5 segundos, gerado a partir do software *Matlab* em um notebook (processador Intel® Core™2 Duo de 2.0 GHz, 2048MB de memória RAM e placa de vídeo Mobile Intel® 965 Express Chipset Family). Desta forma, o sistema não conseguia corrigir adequadamente pequenos erros de posição e assim não convergia até a posição desejada. A solução encontrada foi diminuir a resolução das imagens obtidas pela câmera para 352 x 288 pixels, somente nos casos de controle servo-visual. Para os testes do controle *look-and-move*, foram mantidas as imagens de 960 x 720 pixels, uma vez que esse controle se baseia apenas em

uma imagem (e quanto maior a qualidade da imagem, mais precisos serão os resultados).

Na Figura 35, um gráfico apresenta a resolução em *pixels* de uma imagem e seu tempo de processamento pelo algoritmo SIFT. Vale ressaltar que a implementação do algoritmo utilizado foi obtida no site oficial do criador David Lowe e, após análise entre diferentes implementações disponíveis, constatou-se que esta, além de mais fiel ao algoritmo original, era também uma das mais rápidas.

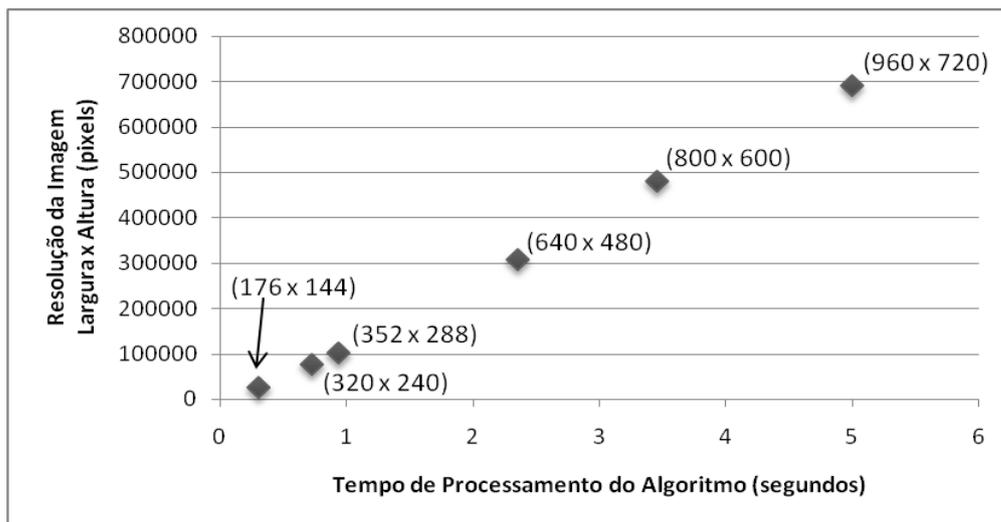


Figura 35 – Resolução em *pixels* versus tempo de processamento do algoritmo SIFT

Vale ressaltar também que o tempo necessário para a mesa atingir uma dada posição depende diretamente da velocidade máxima dos motores. Durante o controle *look-and-move* a velocidade utilizada foi máxima, porém no controle servo-visual a velocidade foi ajustada de acordo com a proximidade do alvo. Fazendo uma estimativa de sua velocidade, conclui-se que a velocidade máxima da mesa (nas coordenadas x e y) é de 13.3 mm/s, ou 1.33 cm/s.

5.1.

Experimento 1: Teste frontal utilizando como alvo círculo

Para iniciar os testes, montou-se o experimento apresentado na Figura 36, onde a posição inicial e final são medidas em relação à posição inicial da câmera. Conforme mencionado no Capítulo 4, o equacionamento da pose do círculo foi realizado admitindo-se que a distância entre a câmera e o círculo era muito maior

que a distância entre seu centro e o eixo óptico da câmera. Para evitar a inclusão de erros associados a essa aproximação, os experimentos com o círculo para os controles baseados em pose foram realizadas com o grau de liberdade de rotação da mesa travado, fixado em $\theta = 0^\circ$.

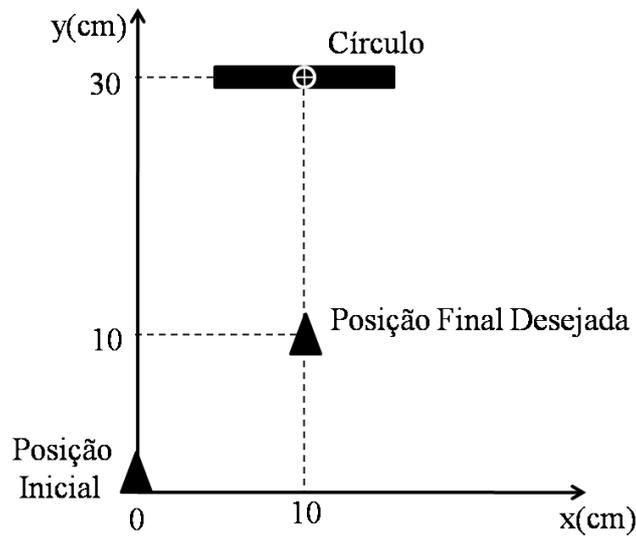


Figura 36 - Vista superior do experimento 1, para teste frontal utilizando círculo vermelho como alvo

A posição final desejada representa a posição onde é possível observar o círculo de frente, ou seja, com o eixo óptico da câmera alinhado com o centro do círculo. Nesta pose, o círculo é avistado com semi-eixos iguais na imagem ($i_r = i_R = 195$ pixels), e a distância entre o centro da imagem e do círculo é $i_a = 10$ pixels.

Na Figura 37 encontra-se a imagem inicial do experimento, já na Figura 38 encontra-se a imagem que se deseja obter com o experimento (utilizada como imagem de referência no controle baseado em imagem). Sendo assim a posição ideal a ser encontrada pelo controle a fim de atingir a posição final desejada é $x_d = 10$ cm, $y_d = 10$ cm e $\theta_d = 0^\circ$.

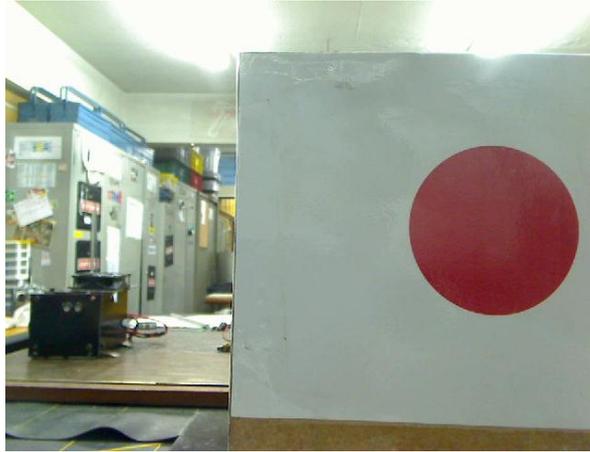


Figura 37 - Vista inicial do experimento 1 e 2

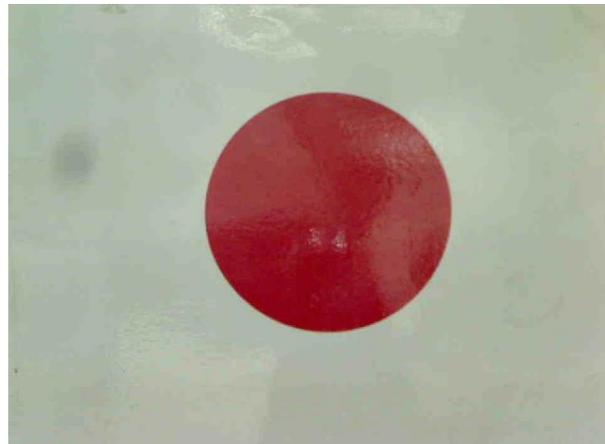


Figura 38 - Vista final do experimento 1

Foram testadas as quatro técnicas de controle: *look-and-move* baseado em pose e em imagem, e servo-visual também baseado em pose e em imagem. Os resultados encontram-se na Tabela 2, onde x_{rel} , y_{rel} e θ_{rel} são as coordenadas encontradas pelo software de controle a partir da imagem capturada na posição inicial, e x_f , y_f e θ_f são as coordenadas reais atingidas pela mesa, inferidas pelas leituras dos *encoders*. As últimas três linhas referem-se às características da imagem, que também poder ser utilizadas para avaliação do resultado; i_r , i_R e i_a correspondem respectivamente aos semi-eixos menor e maior da imagem do círculo e a distância entre o centro da imagem e do círculo. Para o controle servo-visual, as posições relativas x_{rel} , y_{rel} e θ_{rel} variam a cada interação do controle, quando novas imagens são capturadas, e por isso não foram apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Posições reais e relativas obtidas no experimento 1, para as quatro técnicas de controle, associada a valores desejadas $x_d = 10\text{cm}$, $y_d = 10\text{cm}$,

$$\theta_d = 0^\circ, i_r = i_R = 195\text{ pixels e } i_a = 10\text{ pixels}$$

	Controle <i>look-and-move</i> baseado em pose	Controle <i>look-and-move</i> baseado em imagem	Controle servo-visual baseado em pose	Controle servo-visual baseado em imagem
x_{rel}	10,1 cm	7,9 cm		
y_{rel}	8,0 cm	8,3 cm	48 interações	20 interações
θ_{rel}	0°	3°		
x_f	10,7 cm	9,0 cm	10,0 cm	5,4 cm
y_f	8,1 cm	8,4 cm	10,3 cm	10,5 cm
θ_f	0°	3°	0°	10°
i_r	179 pixels	183 pixels	200 pixels	189 pixels
i_R	180 pixels	183 pixels	202 pixels	195 pixels
i_a	15 pixels	-37 pixels	-20 pixels	-37 pixels

Exceto o controle servo-visual baseado em imagem, todos os controles apresentaram resultados próximos do esperado. No controle *look-and-move*, os erros em (x, y, θ) foram provenientes do cálculo da posição $(x_{rel}, y_{rel}, \theta_{rel})$ a partir da imagem. Vale lembrar que, nos controles baseados em pose foi fixado o ângulo $\theta = 0^\circ$. Porém, no caso do controle servo-visual baseado em imagem, a posição final é obtida utilizando as matrizes Jacobianas de imagem, e por isso não era possível fixar a rotação da câmera, o que gerou erros na orientação final de 3° e 10° para o *look-and-move* e servo-visual respectivamente, assim como erros em x e y . No entanto, ao observar a Figura 44 com as imagens resultantes, percebe-se que a imagem final ficou muito próxima da desejada, mesmo considerando os erros na posição final. Isto indica que a Jacobiana de imagem está próxima de uma singularidade na configuração de referência escolhida, ou seja, pequenos erros em i_r , i_R e i_a resultam em grandes erros em x , y e θ .

Durante a execução do programa, são apresentados ao usuário diversos gráficos para o acompanhamento da tarefa. Para todos os tipos de controle, são apresentados gráficos da posição *versus* tempo. No controle *look-and-move*, a posição real dos sensores vem acompanhada da posição desejada, que permanece constante durante todo o processo. Já no controle servo-visual, a posição desejada varia durante a execução da tarefa, e por isso, juntamente com a posição real é apresentado o erro entre a posição desejada e a real (chamado anteriormente também de posição relativa). Nas Figuras 39 e 40 são apresentados os resultados obtidos nos controles baseados em pose.

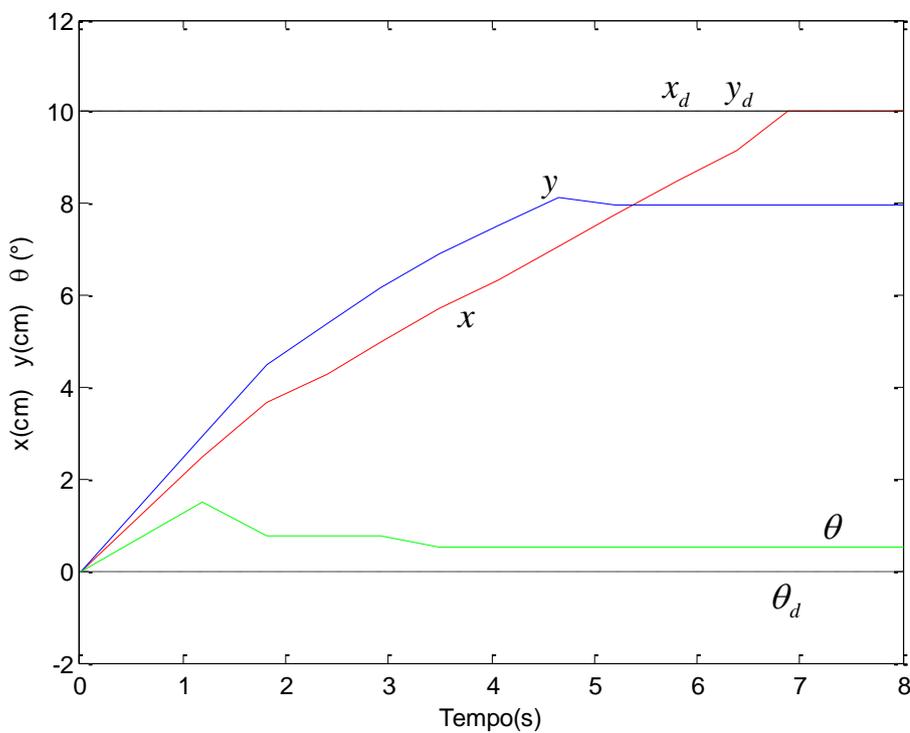


Figura 39 - Gráfico da posição real e desejada *versus* tempo (controle *look-and-move* baseado em pose), experimento 1

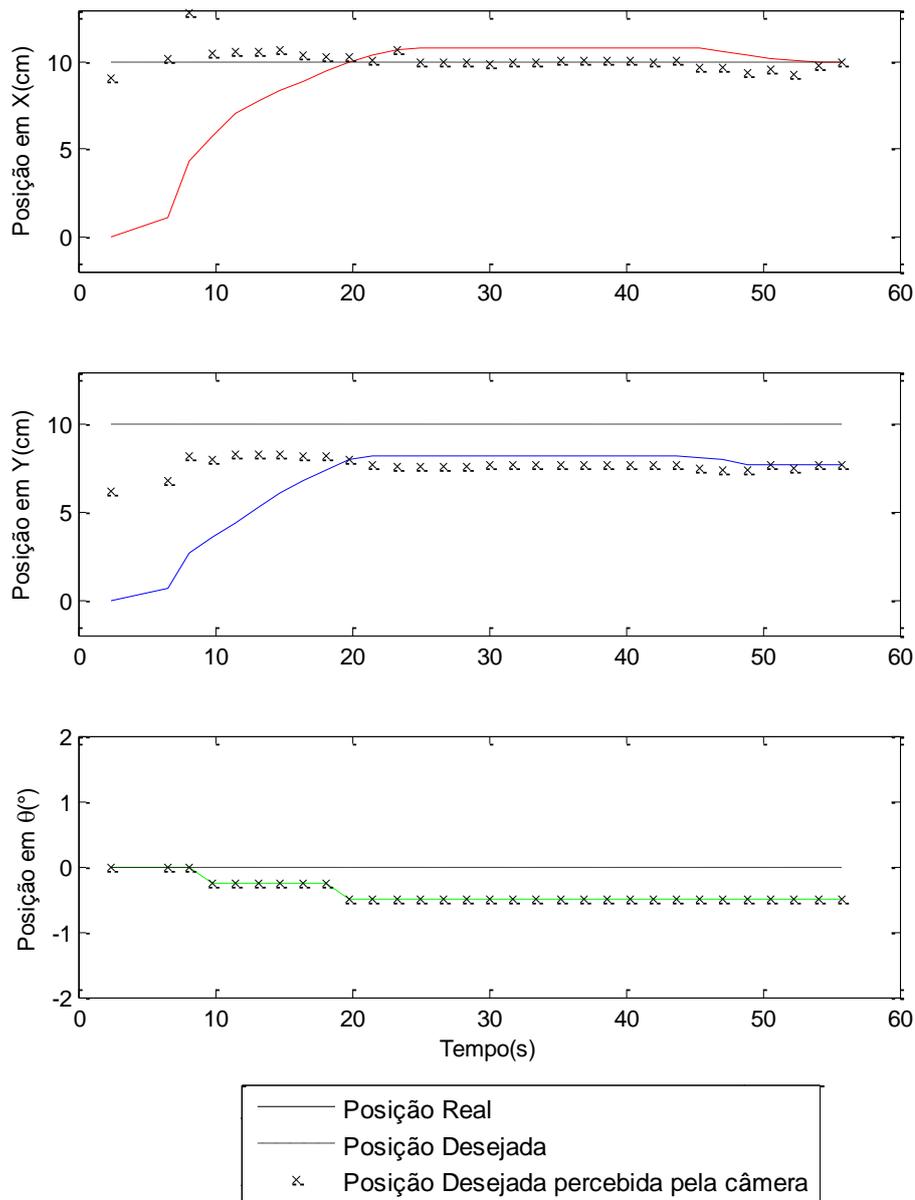


Figura 40 - Gráfico da posição real, desejada e percebida pela câmera através do software, *versus* tempo (controle servo-visual baseado em pose), experimento 1

Para o controle baseado em imagem, também são apresentados gráficos das características *versus* tempo, uma vez que a variável desejada não é mais a posição, e sim as características de imagem S_1 , S_2 e S_3 . Nas Figuras 41 e 42 são apresentados os resultados obtidos nos controles baseados em imagem.

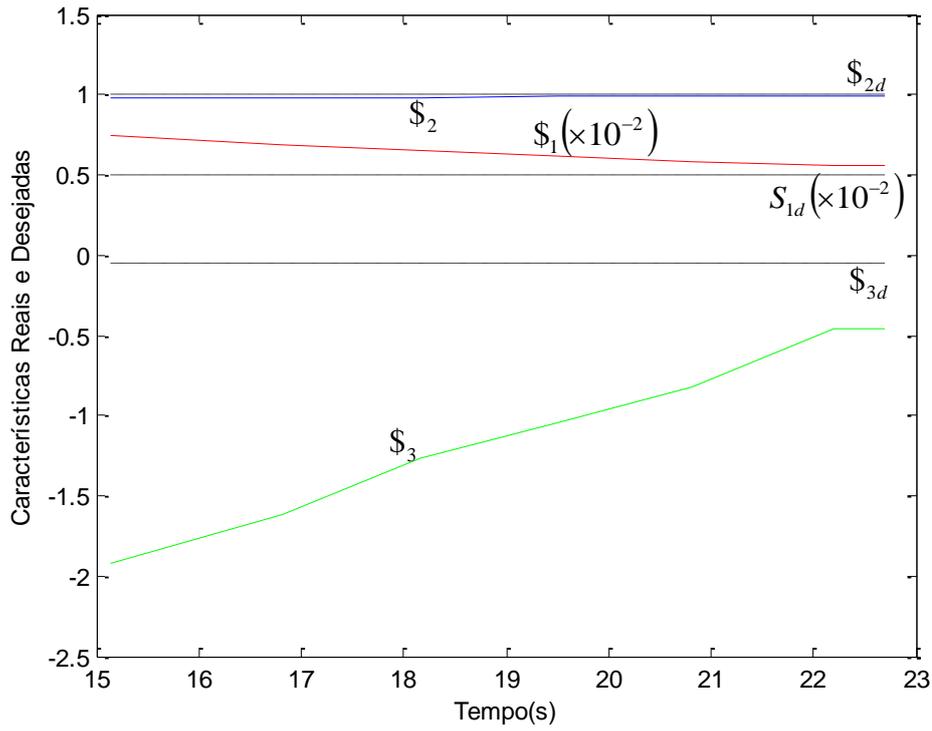


Figura 41 - Gráfico de características *versus* tempo (controle *look-and-move* baseado em imagem), experimento 1

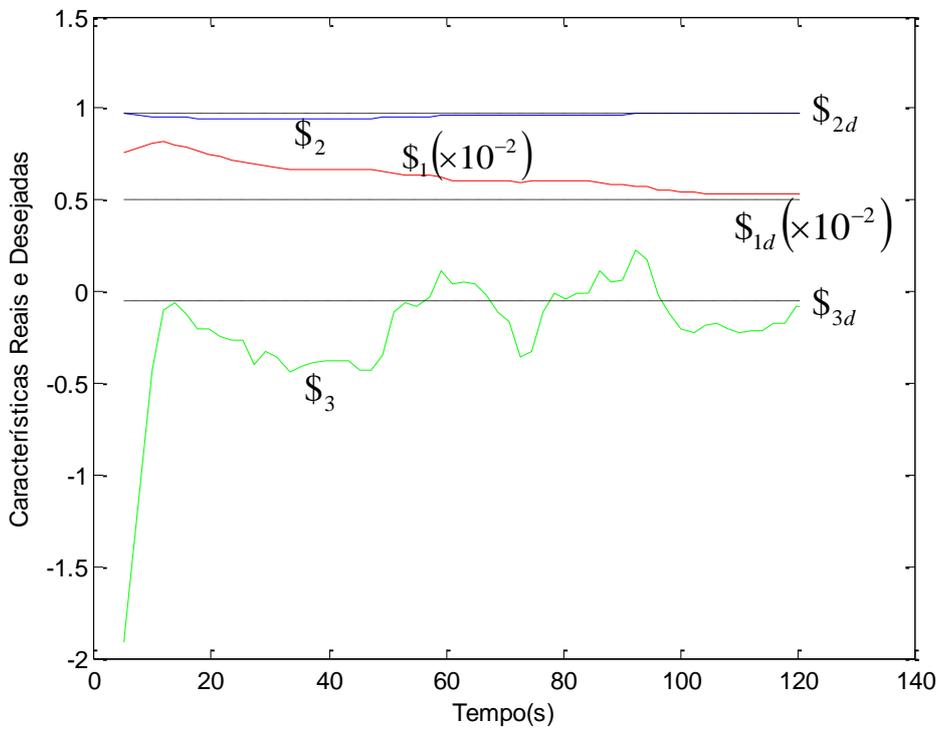


Figura 42 - Gráfico de características *versus* tempo (controle servo-visual baseado em imagem), experimento 1

Para estabelecer uma comparação entre as técnicas propostas, foi construído um gráfico com as posições reais, medidas a partir dos sensores de posição ao longo da movimentação da mesa, para todas as técnicas de controle.

Pela Figura 43, percebe-se que o controle *look-and-move* possui um tempo de acomodação, definido como tempo necessário para a curva atingir a posição desejada com um erro de $\pm 5\%$ (Ogata, 1997), menor que o do controle servo-visual. No entanto, apesar de lento o controle servo-visual atingi a posição desejada com um tempo de acomodação em torno de 25 segundos. O que torna o tempo final do controle igual a 90 segundos são as correções efetuadas através da imagem. A Figura 44 apresenta as imagens obtidas pelas quatro técnicas de controle.

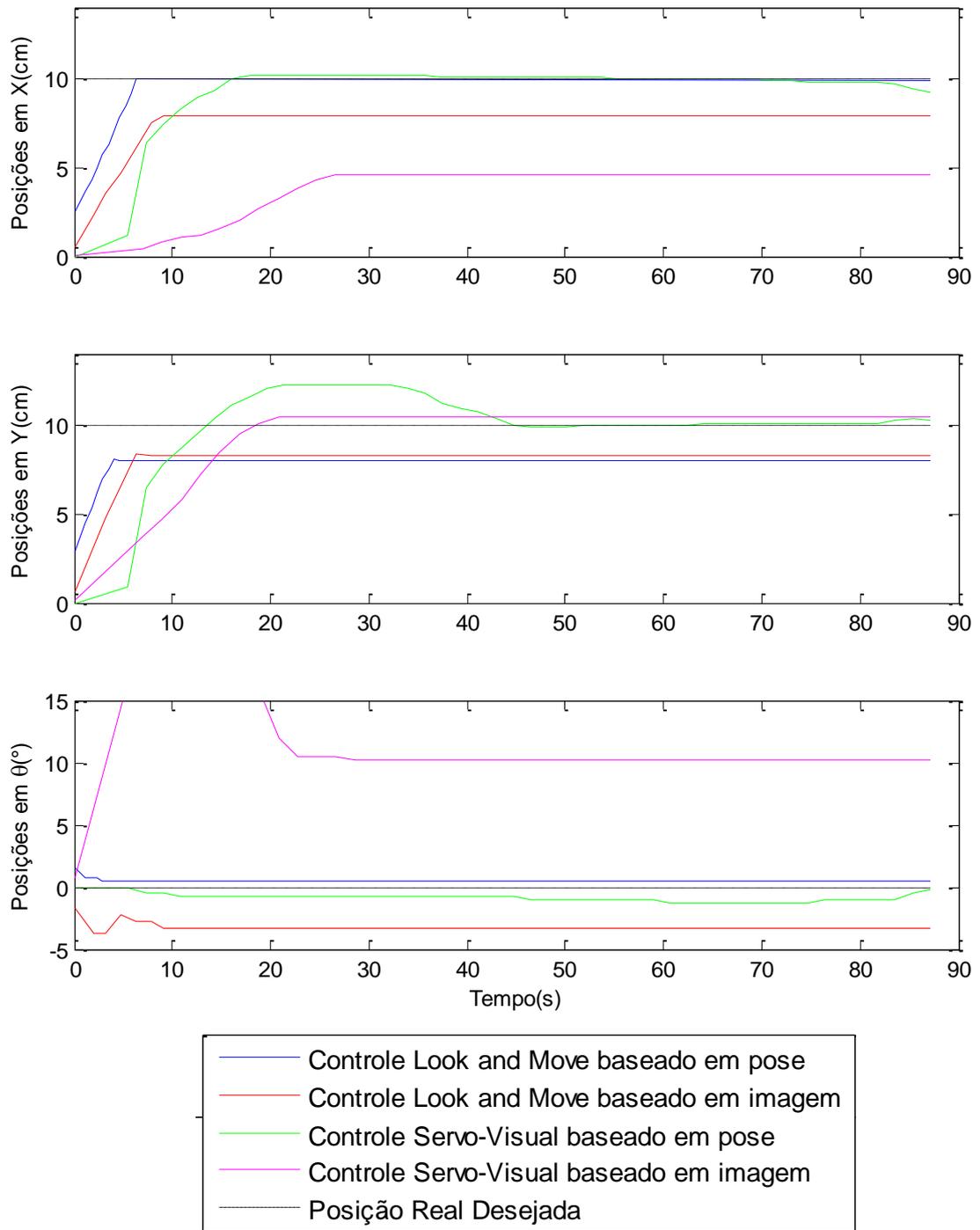


Figura 43 - Comparação entre as técnicas de controle pelo gráfico posição versus tempo, experimento 1

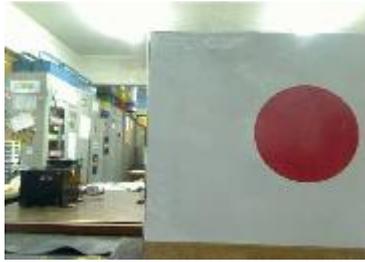


Imagem Inicial



Imagem Desejada

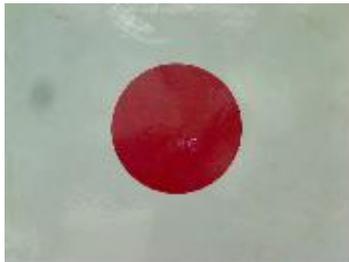
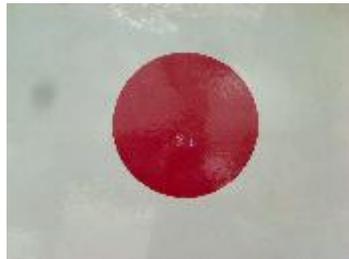
Controle Look and Move
baseado em poseControle Look and Move
baseado em imagemControle Servo Visual
baseado em poseControle Servo Visual
baseado em imagem

Figura 44 - Imagem inicial, deseja e resultantes nas quatro técnicas de controle, experimento 1

Pelas imagens geradas, percebe-se também que o resultado do controle servo-visual baseado em imagem, apesar do posicionamento diferenciado, realmente está de acordo com o esperado. Conforme visto na Tabela 2, ambos os resultados do controle *look-and-move* apresentaram um deslocamento em y menor do que o esperado. Sendo assim, o círculo avistado ao final do experimento também obteve raios menores que os da imagem de referência. Por fim, além de apresentar o melhor posicionamento, o controle servo-visual de fato apresentou as imagens mais semelhantes à desejada. Além de posicionar a câmera bem ao centro

da imagem, o deslocamento mais preciso em y fez com que o círculo fosse avistado com os raios iguais ao da imagem de referência.

5.2.

Experimento 2: Teste lateral utilizando como alvo círculo

Para este experimento, a mesa foi posicionada conforme o esquema da Figura 45.

A posição final desejada representa a posição onde é possível observar o círculo descentralizado, porém ainda assim com semi-eixos iguais. Nesta pose, o círculo é avistado com $i_r = i_R = 285$ pixels, e a distância entre o centro da imagem e do círculo (i_a) igual a -161 pixels. Essa combinação de i_r , i_R e i_a encontra-se longe das configurações de singularidade da matriz Jacobiana de imagem. Desse modo, espera-se obter um menor erro na pose final (x, y, θ) . O experimento se inicia na mesma posição que no teste anterior, por isso a imagem inicial é a mesma da Figura 37. Já a imagem a ser obtida pelo controle encontra-se na Figura 46.

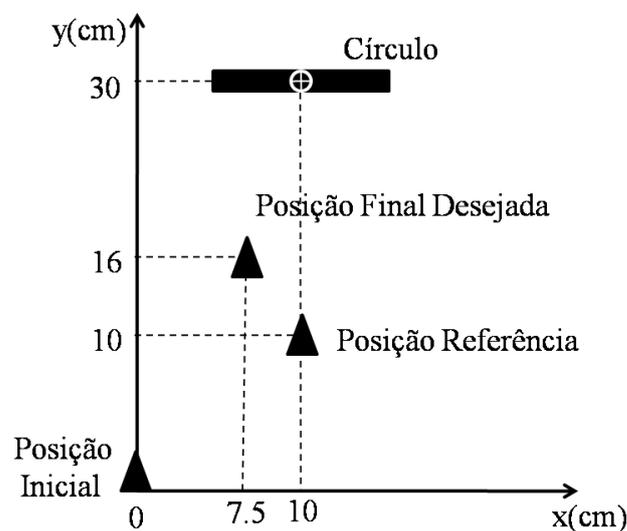


Figura 45 - Vista superior do experimento 2 para teste lateral utilizando círculo vermelho como alvo



Figura 46 - Imagem desejada do experimento 2

A fim de atingir a posição final desejada, o controle deverá encontrar como coordenadas $x = 7.5\text{ cm}$, $y = 16\text{ cm}$ e $\theta = 0^\circ$. Novamente foram testadas as quatro técnicas de controle e os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Posições reais e relativas obtidas no experimento 2, para as quatro técnicas de controle, associada a valores desejados $x_d = 7,5\text{ cm}$, $y_d = 16\text{ cm}$,

$$\theta_d = 0^\circ, i_r = i_R = 285\text{ pixels e } i_a = -161\text{ pixels}$$

	Controle <i>look-and-move</i> baseado em pose	Controle <i>look-and-move</i> baseado em imagem	Controle servo-visual baseado em pose	Controle servo-visual baseado em Imagem
x_{rel}	7,5 cm	7,0 cm		
y_{rel}	14,4 cm	14,9 cm	36 interações	17 interações
θ_{rel}	0°	0°		
x_f	8,0 cm	6,9 cm	7,3 cm	7,2 cm
y_f	14,6 cm	15,0 cm	14,2 cm	14,3 cm
θ_f	0°	0°	0°	0°
i_r	257 pixels	264 pixels	281 pixels	278 pixels
i_R	260 pixels	268 pixels	284 pixels	282 pixels
i_a	-155 pixels	-187 pixels	-171 pixels	-166 pixels

Para estabelecer a comparação entre as técnicas propostas, será apresentado na Figura 47, o gráfico com as posições reais obtidas nos quatro controles.

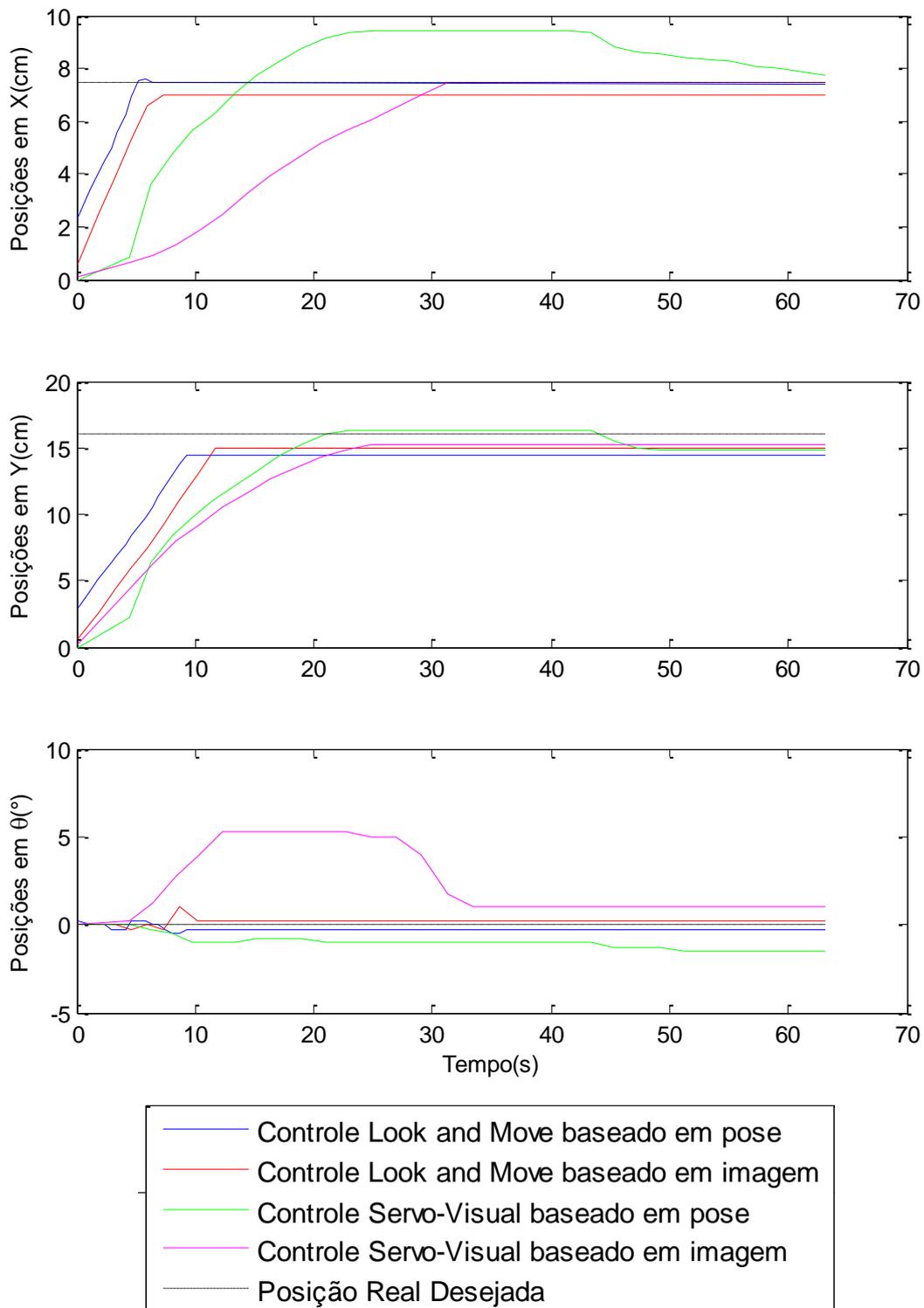


Figura 47 - Comparação entre as técnicas de controle pelo gráfico posição versus tempo, experimento 2

Assim como no primeiro experimento, é possível notar que devido à falta de realimentação por imagem do controle *look-and-move*, os deslocamentos em x e y não foram precisos. Isto pode ser observado não só pelos valores apresentados na Tabela 3, como também pelas imagens geradas pelos controles, onde o erro no centro do círculo e o tamanho dos raios gerados demonstram o mau posicionamento (Figura 48). Já o controle servo-visual, apesar de mais lento, conseguiu posicionar a câmera de forma a apresentar um resultado muito próximo do esperado.



Imagem Inicial

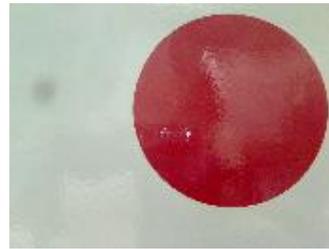


Imagem Desejada

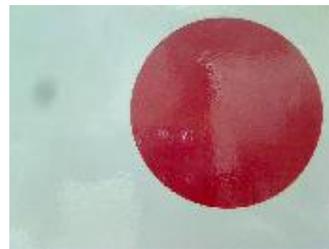
Controle Look and Move
baseado em poseControle Look and Move
baseado em imagemControle Servo Visual
baseado em poseControle Servo Visual
baseado em imagem

Figura 48 - Imagem inicial, desejada, e resultantes nas quatro técnicas de controle, experimento 2

5.3.

Experimento 3: Teste frontal utilizando como alvo painel

Para os testes com o painel frontal, a câmera foi posicionada inicialmente conforme a Figura 49. Para estes testes, o posicionamento foi obtido através do algoritmo SIFT, e por isso além das posições em x e y também pode ser determinada a rotação da câmera sem a necessidade de usar aproximação no modelo.

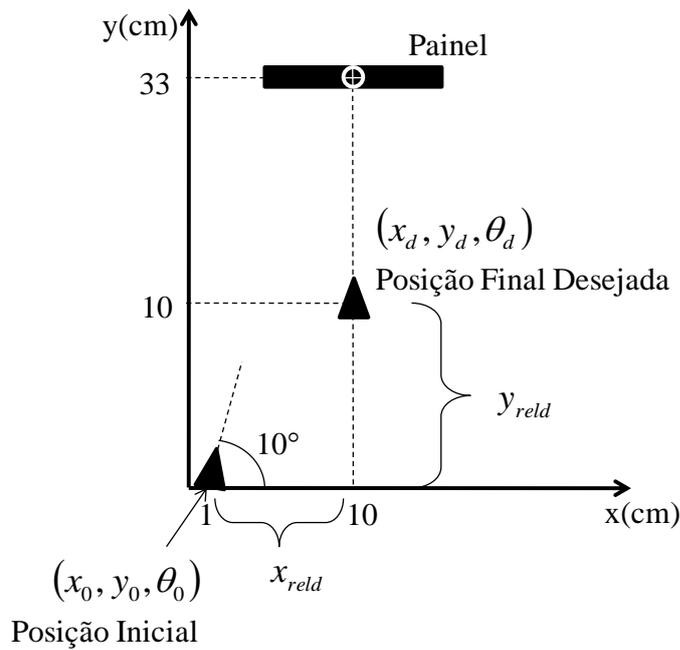


Figura 49 - Vista superior do experimento 3 para teste frontal utilizando como alvo o painel 2D

Segundo o Esquema da Figura 49, é possível verificar as seguintes relações

$$\begin{aligned} x_d &= x_0 + x_{reld} \\ y_d &= y_0 + y_{reld} \\ \theta_d &= \theta_0 + \theta_{reld} \end{aligned} \quad (89)$$

Para atingir a posição desejada, o software de controle deveria então encontrar como coordenadas os parâmetros $x_{reld} = 9 \text{ cm}$, $y_{reld} = 10 \text{ cm}$ e $\theta_{reld} = 0^\circ$, e fisicamente deseja-se que a mesa coordenada atinja $x_d = 10 \text{ cm}$, $y_d = 10 \text{ cm}$ e $\theta_d = 0^\circ$. Pode-se afirmar também que

$$\begin{aligned}x_f &\neq x_0 + x_{rel} \\y_f &\neq y_0 + y_{rel} \\ \theta_f &\neq \theta_0 + \theta_{rel}\end{aligned}\quad (90)$$

onde (x_f, y_f, θ_f) são as coordenadas reais atingidas pela mesa e $(x_{rel}, y_{rel}, \theta_{rel})$ representam os valores encontrados pelo software de controle. A equação (90) pode ser confirmada, uma vez que as coordenadas relativas desejadas são enviadas à mesa porém dependem de um controle exato para serem atingidas.

Nestas configurações desejadas o painel é visto conforme a Figura 50, e partindo-se da posição inicial apresentada no Esquema da Figura 49, é possível observar a Figura 51.



Figura 50 - Imagem frontal do painel para o experimento 3



Figura 51 - Imagem inicial do experimento 3 utilizando como alvo o painel

Nos experimentos utilizando SIFT, foram utilizados apenas os controles baseados em pose. Os controles baseados em imagem dependeriam de uma matriz Jacobiana de imagem que fosse obtida a partir de parâmetros geométricos do painel S_1 , S_2 , etc., como por exemplo, sua largura e altura na imagem, e a posição de seu centro geométrico. Porém, não foram implementados neste trabalho algoritmos que possibilitassem obter estes parâmetros para a imagem de um painel genérico. Estes parâmetros poderiam ser obtidos, por exemplo, através de um algoritmo de detecção de arestas. No entanto, implementou-se duas formas de controle baseado em pose, tanto para o *look-and-move* quanto para o servo-visual. As duas formas consistem em informar a pose desejada (Caso A) através de coordenadas (x_d, y_d, θ_d) , ou (Caso B) através de uma imagem previamente obtida na posição desejada.

Utilizou-se como imagem de referência, uma imagem frontal do painel. Para os casos onde a imagem desejada era diferente da imagem de referência, eram feitas duas correlações: a primeira entre a imagem desejada e a de referência, e a segunda entre a imagem atual e a de referência (conforme indicado na Figura 52). Sendo assim era possível obter a relação entre a imagem atual e a desejada.

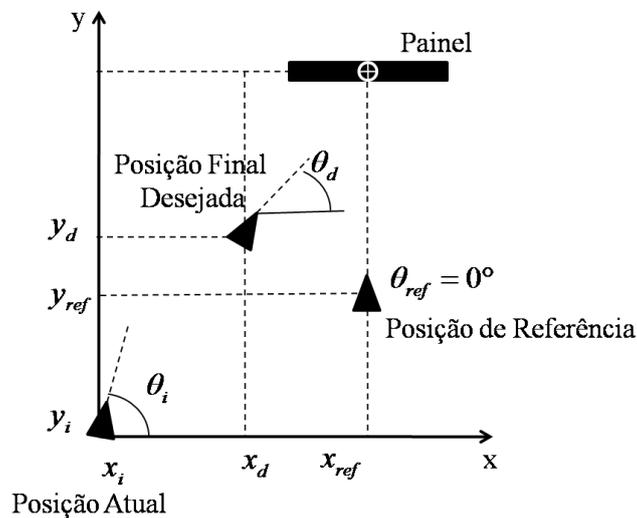


Figura 52 - Esquema entre a posição atual, desejada e de referência

Abaixo a Tabela 4, apresenta os resultados obtidos nos quatro controles. As 3 primeiras linhas indicam as distâncias relativas encontradas pelo software, e as 3 últimas linhas as posições reais atingidas pela mesa x_f, y_f, θ_f .

Tabela 4 - Posições reais e relativas obtidas no experimento 3 para quarto técnicas de controle, associada a valores desejados $x_d = 10\text{cm}$, $y_d = 10\text{cm}$,

$$\theta_d = 0^\circ, x_{rel} = 9\text{cm}, y_{rel} = 10\text{cm e } \theta_{rel} = 0^\circ$$

	Controle <i>look-and-move</i> baseado em pose Caso (A)	Controle <i>look-and-move</i> baseado em pose Caso (B)	Controle servo-visual baseado em pose Caso (A)	Controle servo-visual baseado em pose Caso (B)
x_{rel}	7,3 cm	7,5 cm		
y_{rel}	9 cm	9,1 cm	55 interações	27 interações
θ_{rel}	7,6°	7,7°		
x_f	8,5 cm	8,4 cm	9,5 cm	9,5 cm
y_f	9,3 cm	9,3 cm	9,8 cm	9,5 cm
θ_f	1°	1°	1°	1°

Mais uma vez, foram traçados todos os valores de posição em um único gráfico, apresentado na Figura 53.

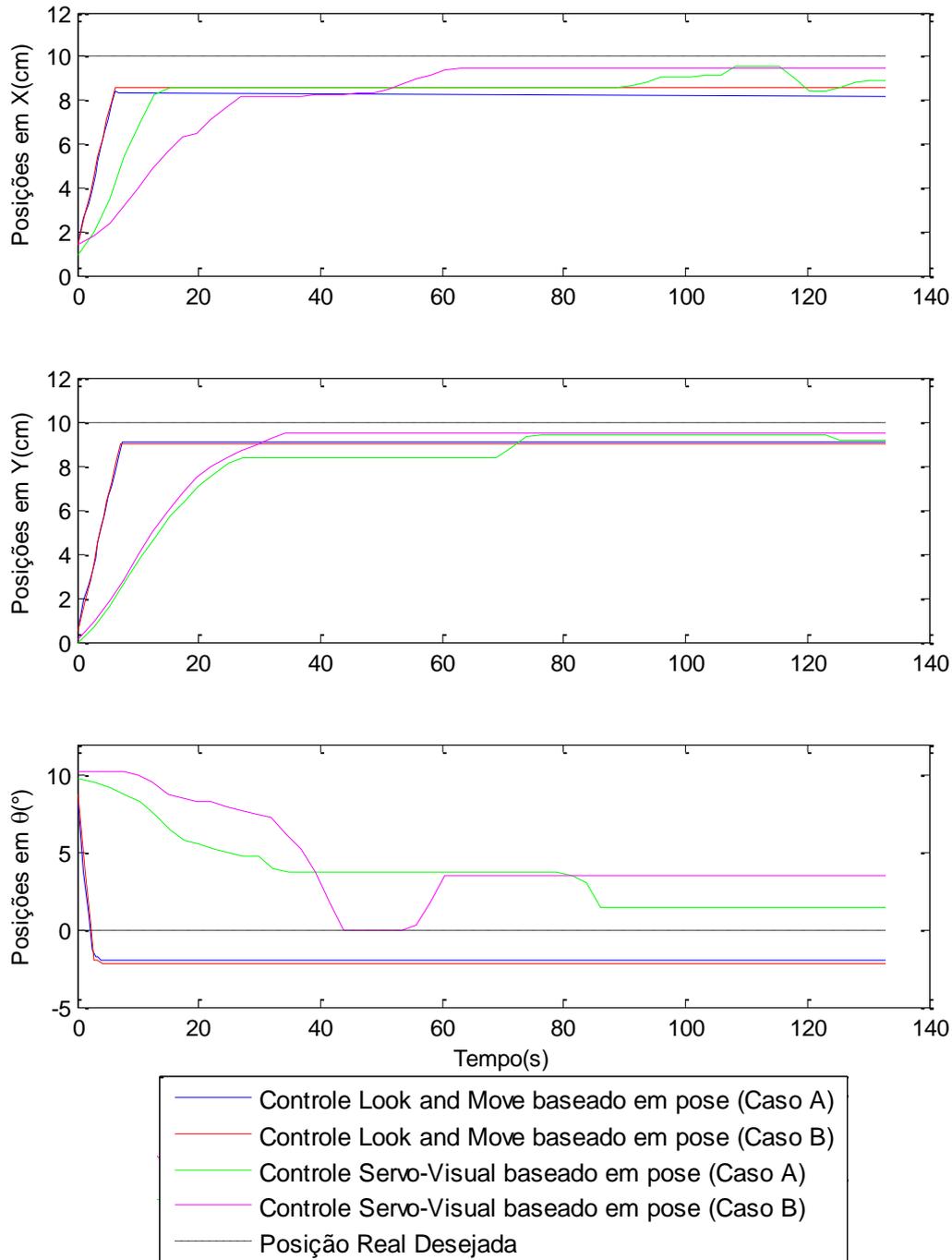


Figura 53 - Comparação entre as técnicas de controle pelo gráfico posição versus tempo, experimento 3

Para todos os casos de controle *look-and-move*, o tempo final de processamento foi relativamente o mesmo tanto para o círculo quanto para o painel, já que apenas uma imagem era analisada (e uma vez determinada a posição, o controle não precisa capturar ou processar novas imagens). No entanto, para o controle servo-visual é interessante reparar que o tempo de acomodação

aumentou consideravelmente, uma vez que a cada interação do programa um novo processamento do algoritmo SIFT é realizado. Para o caso do círculo o controle servo-visual apresentou um tempo de acomodação em torno de 25 segundos, e um tempo final de 90 segundos. Para este caso com o painel, o tempo de acomodação aumentou para 90 segundos, e o tempo final para 120 segundos.

Pelas imagens obtidas ao final do controle (Figura 54), percebe-se a influência da realimentação visual na precisão do experimento. As imagens obtidas pelo controle *look-and-move* não conseguiram atingir a imagem esperada com tanta precisão quanto o servo visual.



Imagem Inicial



Imagem Desejada

Controle Look and Move
baseado em pose - Caso (A)Controle Look and Move
baseado em pose - Caso (B)Controle Servo Visual
baseado em pose - Caso (A)Controle Servo Visual
baseado em pose - Caso (B)

Figura 54 - Imagem inicial, desejada e resultantes nas quatro técnicas de controle, experimento 3

5.4.

Experimento 4: Teste lateral utilizando como alvo painel

Para os testes com o painel lateral, o experimento foi montado conforme a Figura 55.

Para atingir a posição desejada, o software de controle deveria então encontrar como parâmetros $x_d = 8\text{ cm}$, $y_d = 15\text{ cm}$ e $\theta_d = 30^\circ$; e $x_{rel_d} = 8\text{ cm}$, $y_{rel_d} = 15\text{ cm}$ e $\theta_{rel_d} = 20^\circ$. Nesta configuração, o painel é visto conforme a Figura 56, e esta é a imagem informada ao *software* nos controles do caso (B). Já a imagem inicial do experimento pode ser observada na Figura 57.

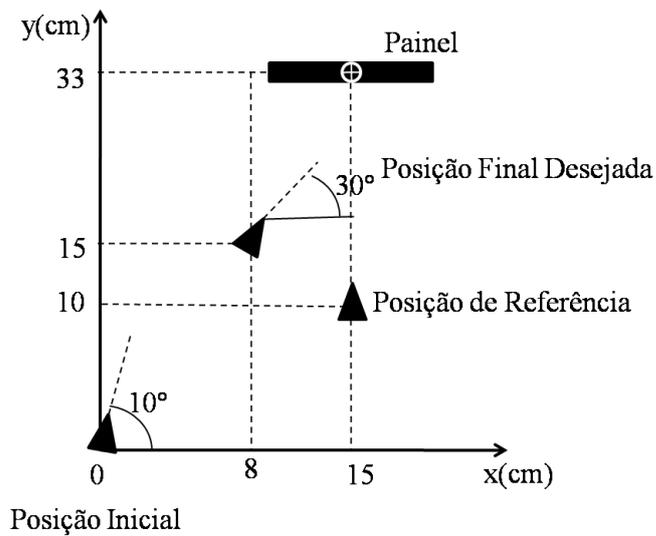


Figura 55 - Vista superior do experimento 4 para teste lateral utilizando painel 2D como alvo

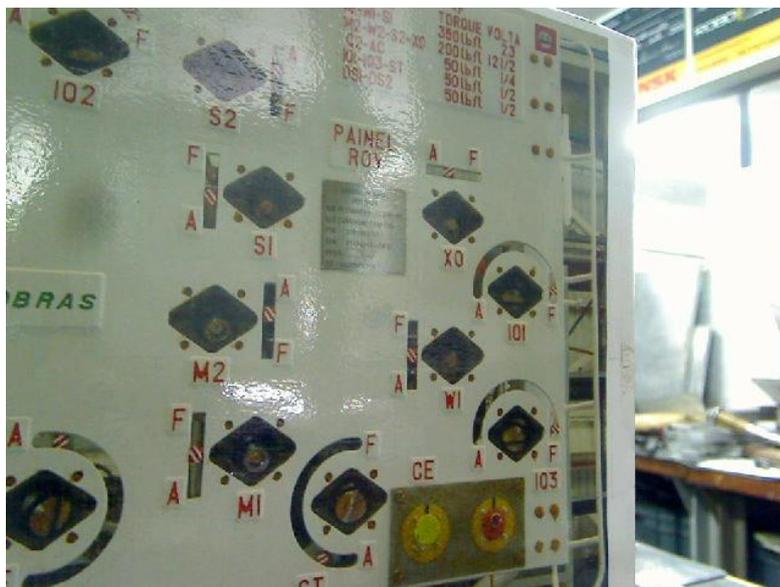


Figura 56 - Imagem lateral do painel



Figura 57 - Imagem inicial do experimento 4 utilizando como alvo o painel 2D

Novamente foram testadas as quatro técnicas de controle, e os resultados encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Posições reais e relativas obtidas no experimento 4 para quatro técnicas de controle, associada a valores desejados $x_d = 8\text{cm}$, $y_d = 15\text{cm}$,

$$\theta_d = 30^\circ \text{ e } x_{rel} = 8\text{ cm}, y_{rel} = 15\text{ cm e } \theta_{rel} = 20^\circ$$

	Controle <i>look-and-move</i> baseado em pose Caso (A)	Controle <i>look-and-move</i> baseado em pose Caso (B)	Controle servo-visual baseado em pose Caso (A)	Controle servo-visual baseado em pose Caso (B)
x_{rel}	6,6 cm	6,6 cm		
y_{rel}	15,9 cm	19 cm	13 interações	50 interações
θ_{rel}	16,5°	28°		
x_f	6,8 cm	6,8 cm	6,5 cm	7,0 cm
y_f	16,3 cm	19,4 cm	17 cm	16,6 cm
θ_f	27°	38°	34°	33°

Pelos resultados apresentados na Tabela 5, percebe-se que a posição desejada foi atingida com maiores erros para o controle *look-and-move*. Ao analisar as imagens finais geradas por estes, pode-se perceber que todos conseguiram convergir para imagens bem próximas da desejada.

Durante a execução do controle servo-visual, percebeu-se no entanto que quanto mais próximo do objeto alvo, maior era o erro nas posições obtidas pelo *software*. Isso pode ser explicado pela baixa resolução das imagens. Além disso, muitas vezes a rotação errada da câmera implicava na perda de grande parte do objeto alvo no seu campo de visão. Além disso, grande parte do objeto alvo se encontrava na região de distorção da câmera, cuja calibragem foi ignorada neste projeto. Com estes problemas, o algoritmo SIFT detectava um número muito baixo de correlações, que em alguns casos podiam até não ser verdadeiras. A fim de minimizar os resultados de posicionamento falso, foram feitas verificações ao longo do processo de forma que um posicionamento muito distante do posicionamento obtido na interação anterior fosse descartado. A princípio, optou-se por manter o resultado anterior, assumido como correto, e continuar a movimentação da mesa. Porém, se fossem obtidas sucessivas posições erradas, a mesa poderia chegar ao fim do curso e danificar o experimento. Por isso optou-se por automaticamente parar a mesa nestes casos até que um novo resultado correto fosse obtido. Foram considerados posicionamentos falsos, aqueles que obtivessem uma diferença na angulação θ de 15° a mais que na interação anterior.

No caso do controle servo-visual caso (B), que obteve um total de 50 interações, cerca de 23 interações foram descartadas por apresentarem resultados considerados falsos. Ao analisar o gráfico obtido na Figura 59, é possível observar os erros de posicionamento obtidos. Na curva que indica a posição desejada obtida pelo *software* observa-se que diversos pontos encontram-se muito afastados da interação anterior.

Para o caso do controle servo-visual caso (A), também foi implementado o mesmo mecanismo de descartar interações falsas. Ao executar o mesmo teste algumas vezes, percebeu-se que este também apresentava o mesmo problema. No entanto, o experimento apresentado na Tabela 5, conseguiu convergir rapidamente sem contar com nenhum posicionamento falso (vide Figura 58). É importante ressaltar que apesar de a programação, do posicionamento do objeto alvo, e da posição inicial da câmera ser o mesmo, as trajetórias obtidas ao longo de diversos

experimentos dificilmente serão iguais. Isso porque os resultados dependem das imagens obtidas, e durante a movimentação da mesa as imagens não são obtidas exatamente no mesmo instante. Ao final do experimento, no entanto, espera-se que todos os experimentos atinjam uma posição final similar.

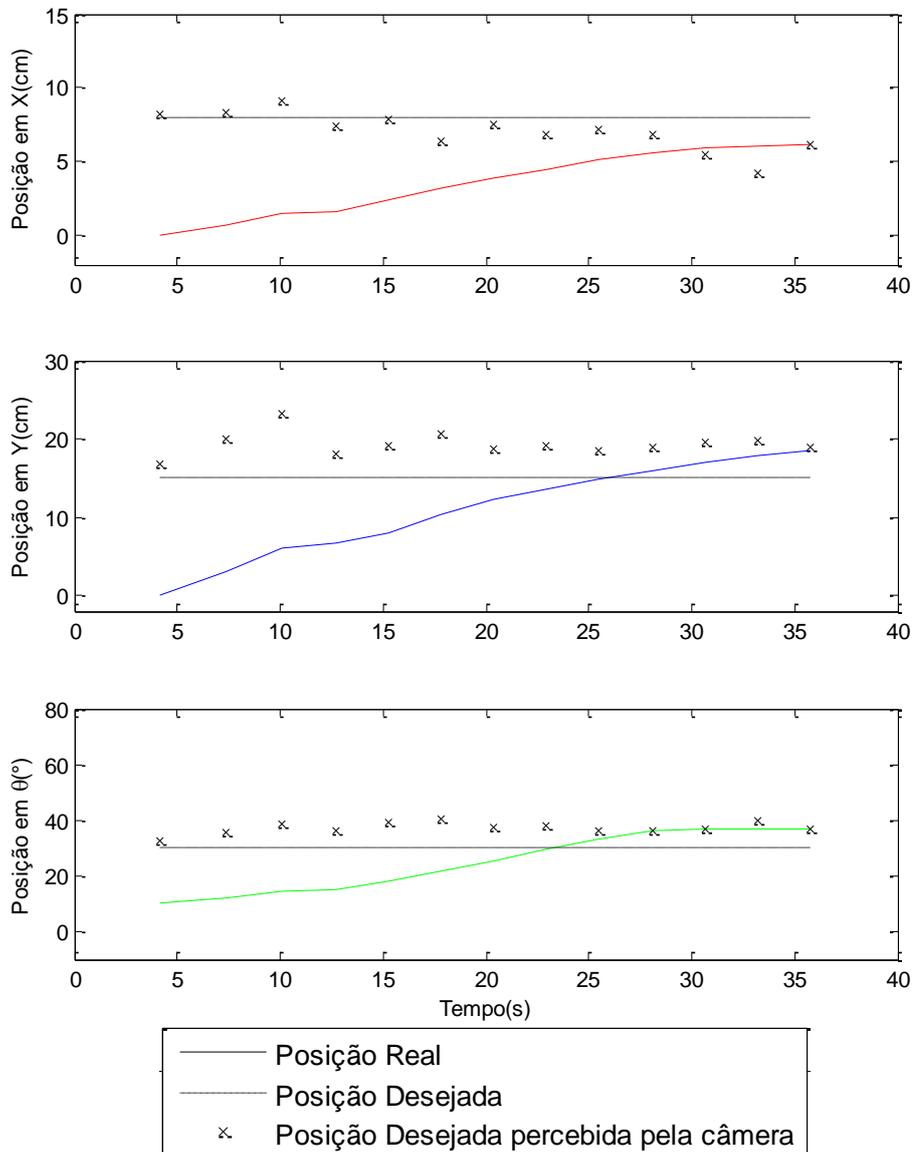


Figura 58 - Gráfico da posição real, desejada e percebida pela câmera através do software *versus* tempo para o controle servo-visual caso (A), experimento 4

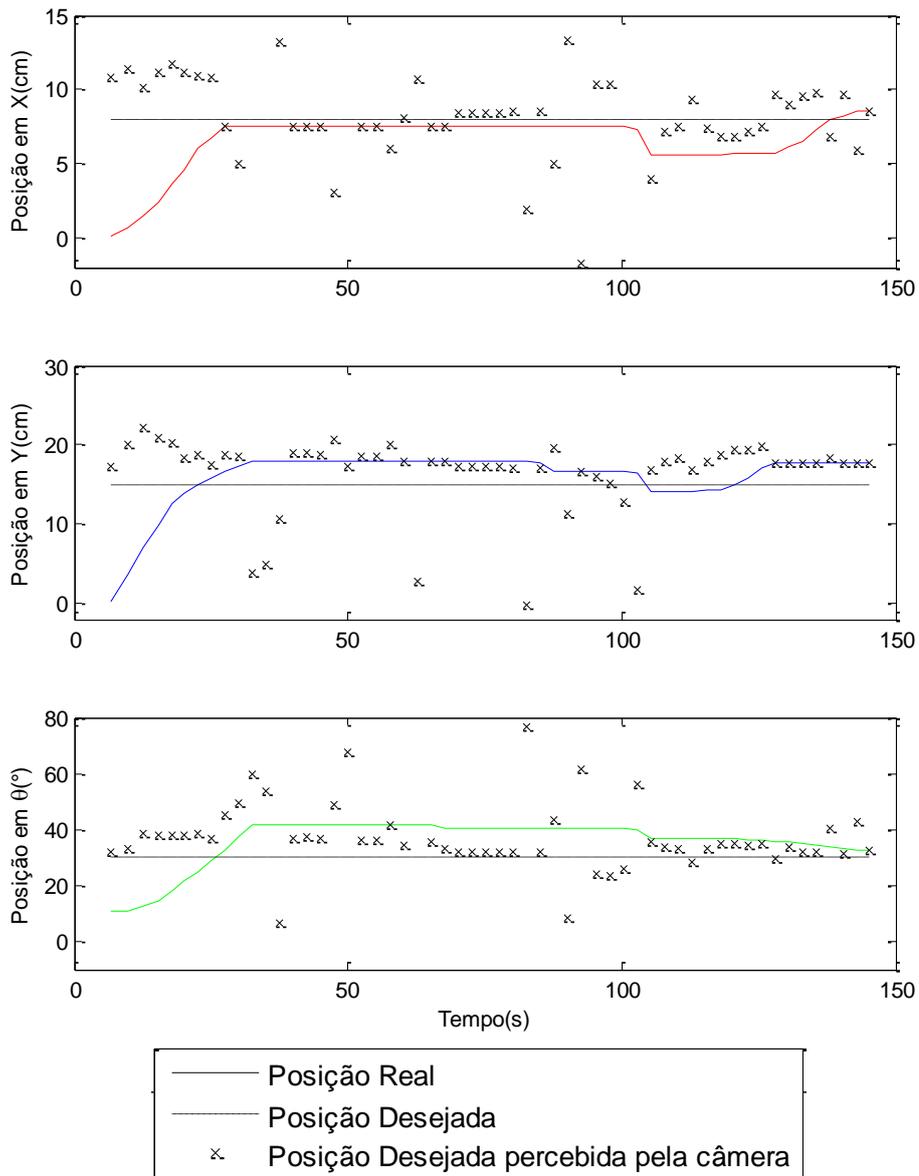


Figura 59 - Gráfico da posição real, desejada e percebida pela câmera através do software versus tempo para o controle servo-visual caso (B), experimento 4

Na Figura 60, é apresentado um gráfico com o resultado dos quatro controles. Percebe-se que nenhum deles atingiu a posição desejada, porém pela Figura 61, observa-se que todas as imagens atingidas assemelham-se da desejada.

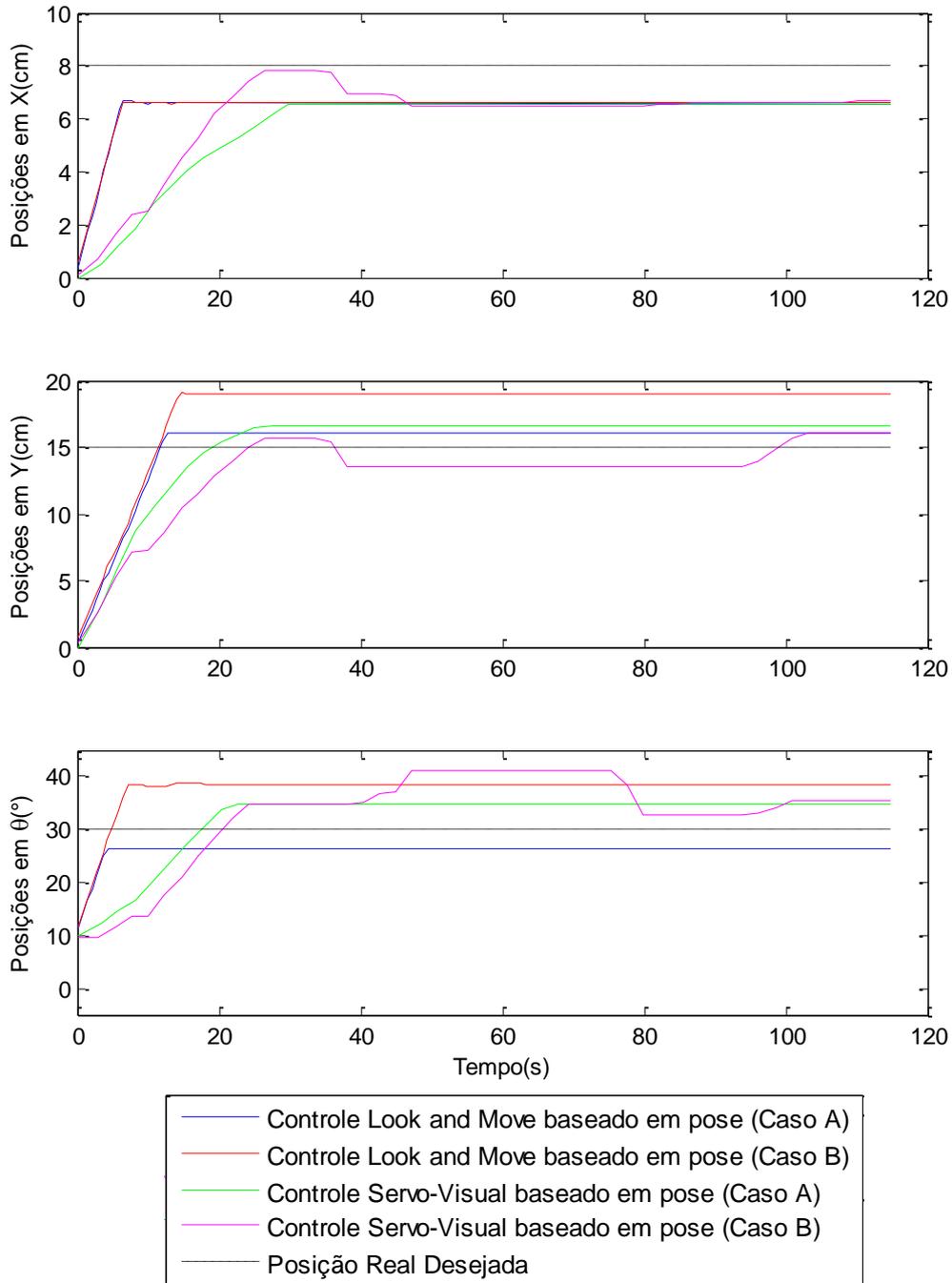


Figura 60 - Comparação entre as técnicas de controle pelo gráfico posição versus tempo, experimento 4



Imagem Inicial



Imagem Desejada



Controle Look and Move baseado em pose - Caso (A)



Controle Look and Move baseado em pose - Caso (B)



Controle Servo Visual baseado em pose - Caso (A)



Controle Servo Visual baseado em pose - Caso (B)

Figura 61 - Imagem inicial, desejada e resultantes nas quatro técnicas de controle, experimento 4