



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Fábio José de Castro Ferreira

Estudo do Movimento Humano  
em Tarefas de Transporte Cooperativo





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Fábio José de Castro Ferreira

Estudo do Movimento Humano  
em Tarefas de Transporte Cooperativo

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de  
Mestre em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Trabalho efetuado sob a orientação da  
Professora Doutora Estela Guerreiro Silva Bicho  
Erlhagen

## DECLARAÇÃO

Nome: Fábio José de Castro Ferreira

Endereço eletrónico: fabiojcf2510@gmail.com      Telefone: 915214508

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 13915138

Título da dissertação: Estudo do Movimento Humano em Tarefas de Transporte Cooperativo

Orientadora:

Professora Doutora Estela Guerreiro Silva Bicho Erlhagen

Ano de conclusão: 2015

Mestrado em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Assinatura:

## AGRADECIMENTOS

Eu gostava de deixar uma palavra de apreço a todas as pessoas que me ajudaram e apoiaram ao longo da escrita da dissertação.

Um grande obrigado à Professora Estela Bicho, que despertou o meu interesse para este problema e cuja ajuda se revelou fundamental durante todo o processo de realização e escrita da minha dissertação.

Ao Doutor Sérgio Lopes, um obrigado pelo apoio institucional fornecido e pela sua inteira disponibilidade e flexibilidade.

Gostava também de agradecer ao Toni Machado, Emanuel Sousa e ao Tiago Malheiro pela enorme ajuda oferecida durante as experiências e a análise dos dados resultantes da mesma, sem eles, teria sido muito mais complicado para mim.

Um enorme obrigado ao Laboratório de Visualização e Percepção da Universidade do Minho e todos os seus membros pela disponibilização do equipamento que tornou possível a realização desta dissertação.

Ao Tiago Fernandes, João Lage, Emanuel Costa, Joel Dias, Pedro Ribeiro, Pedro Pereira, Davide Guimarães, Luís Costa, Eurico Moreira, Pedro Rocha e João Sousa, um obrigado por tudo o que fizeram por mim ao longo dos últimos cinco anos, foram fantásticos.

Por último gostava de agradecer à minha família, especialmente à Ana Valente, José António, Maria Fernanda e Bruno Ferreira, pelo apoio e paciência que foram fundamentais durante todo este tempo.



## RESUMO

Palavras-Chave: Interação Humano-Robô, Interação Humano-Humano, Tarefas de transporte cooperativo, Experiências com humanos.

A interação humano-robô tem uma enorme aplicabilidade na realização de tarefas cooperativas do nosso cotidiano. Um exemplo, é o transporte de objetos largos e compridos, que devido à dificuldade da tarefa, um humano, sozinho, não seria capaz de efetuar. No entanto, com a ajuda de um segundo agente, um robô por exemplo, a tarefa já podia então ser concluída. Para que o transporte seja bem-sucedido é necessário que o humano e o robô estejam em sintonia para que no caso de ser encontrada uma dificuldade de percurso (e.g. corredor apertado ou corredor sem saída), não haja conflito entre os intervenientes.

Nesta dissertação, pretendemos desenvolver uma experiência com equipas humano-humano a efetuar o transporte de um objeto comprido até uma localização alvo passando por um corredor mais apertado onde a coordenação entre os participantes se torna imperativa. A estratégia utilizada designa-se de *Leader-Follower*, onde o *Leader* sabe a localização alvo escolhendo o caminho até lá e o *Follower* tem como objetivo ajudar o *Leader* a completar a tarefa se possível sem colisões ao longo do percurso. O *Follower* não tem qualquer informação acerca do alvo. Durante a experiência, os participantes irão transportar dois tipos de objetos (objetos com tamanhos diferentes). A ausência de comunicação entre os intervenientes, a falta de informação acerca do ambiente e a visibilidade reduzida tornam-se obstáculos a superar pelos participantes.

Inicialmente é feita uma descrição detalhada da experiência, onde é apresentado o cenário onde esta foi desenvolvida, o sistema de *motion tracking* usado para capturar as trajetórias dos participantes, os objetos a serem transportados pelos participantes, os chapéus responsáveis por limitar a quantidade de informação ao dispor dos participantes, e por fim o procedimento adotado. Seguidamente é explicado detalhadamente o processamento aplicado aos dados até à serem exportados. Finalmente são apresentadas as variáveis calculadas que descrevem as trajetórias dos participantes e os métodos estatísticos usados para apresentar e relacionar os resultados.

Os resultados obtidos demonstram que o *Leader* da tarefa tem em atenção as dificuldades do parceiro adotando trajetórias mais seguras ao longo da experiência. Mostram também a

existência de um efeito de aprendizagem por parte do participante *Leader* à medida que a experiência é realizada. Em relação ao *Follower*, conclui-se que este segue a orientação do objeto, no entanto, é o responsável por corrigir a trajetória na eventualidade de uma colisão.



## ABSTRACT

Keywords: Human-Robot Interaction, Human-Human Interaction, Joint-carrying tasks, Human experiments.

The human-robot interaction has a huge applicability in carrying out cooperative tasks of everyday life. An example of those applications are the joint-carrying tasks like the transport of wide and long objects. Given the difficulty of the task a human, by himself, would not be able to perform it successfully. However, with the help of a second agent, like a robot, the task could then be concluded. Nonetheless, to successfully accomplish the task, both agents need to be coordinated in space and time so any route difficulty (tighter corridor, dead end, etc.) can be solved accordingly.

In this dissertation, we intend to develop an experiment with human-human teams while a transport of a long object through a tighter corridor is developed. In this case scenario the coordination between the participants becomes imperative. The strategy adopted is called the Leader-Follower, where the Leader knows the target location and he is responsible to choose the path to get there. The Follower has to help the Leader to complete the task preferably without any collision. The Follower does not have any information about the target's location. During the experiment, two types of objects will be carried by the participants (objects with different sizes). The absence of communication between the participants, the lack of information about the environment and the reduced visibility become obstacles to overcome by the participants.

First, a detailed description of the experience is given, where the scenario and the motion tracking system used to capture the trajectories of the participants are presented. Afterwards the objects to be transported by the participants, the hats responsible to limit the amount of information to available for participants and the procedure adopted are revised. Finally, it is explained how the collected data was processed and exported to be analyzed and which characteristics of the participant's trajectories were explored and how they were calculated.

The results shown that the Leader takes into account the difficulties of the *Follower* adopting safer paths through the experience. They also shown that there is a learning effect by the participant Leader as the experiment is performed. Regarding the Follower, it is concluded that

he follows the orientation of the object. However, he is responsible for adapting his trajectory in order to avoid collisions.

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xi
1. Introdução.....	1
1.1 Motivação e apresentação do problema.....	1
1.2 Estado de Arte.....	3
1.3 Âmbito.....	8
1.4 Organização da dissertação.....	8
2. Metodologia da experiência.....	9
2.1 <i>Design</i> .....	9
2.1.1 Cenário.....	10
2.1.2 Sistema de Captura de Movimento.....	12
2.1.3 Objetos transportados.....	16
2.1.4 Chapéus usados.....	16
2.1.5 Procedimento.....	18
2.2 Processamento dos Dados.....	19
2.3 Análise dos Dados.....	21
2.3.1 Região de análise.....	21
2.3.2 Distância mantida pelos participantes em relação à parede esquerda.....	26
2.3.3 Velocidade dos participantes.....	27
2.3.4 Orientação da cabeça dos participantes.....	28
2.3.5 Orientação do objeto.....	28
2.3.6 Distância do objeto ao canto.....	29
2.3.7 Cálculos estatísticos.....	32
3. Resultados e discussão.....	35
3.1 Distância dos participantes à parede esquerda e do objeto ao canto.....	36
3.1.1 Leader.....	36
3.1.2 Follower.....	44
3.2 Velocidades dos participantes.....	51

3.2.1	Leader.....	51
3.2.2	Follower .....	55
3.3	Orientação da cabeça dos participantes e orientação do objeto. ....	60
3.3.1	Leader.....	60
3.3.2	Follower .....	62
4.	Conclusões e Trabalho futuro .....	67
	Referências Bibliográficas .....	69
	Anexo I – Proposta submetida à comissão de ética da Universidade do Minho.....	73
	Anexo II – Formulário do consentimento informado.....	79

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Um par de participantes a executar um ensaio da experiência. ....	3
Figura 2: Planta do cenário onde decorreu a experiência. Os quadrados desenhados a azul representam a posição das câmaras do sistema de captura. O referencial usado na experiência encontra-se ao nível do solo no vértice da parede que delimita a curvatura à esquerda. ....	11
Figura 3: Vista em 3D do cenário construído. ....	12
Figura 4: Interface gráfica do utilizador do Vicon Nexus. O retângulo a vermelho do lado direito destaca as várias funcionalidades do painel de ferramentas e o do lado esquerdo desta o botão que permite gerir a base de dados onde os ensaios são armazenados. ....	14
Figura 5: Objetos (macas) construídos para serem transportados pelos participantes. a) Medidas dos objetos contruídos. b) Resultado final dos objetos construídos. ....	16
Figura 6: Esquema do triângulo acoplado ao chapéu. ....	17
Figura 7: Chapéus utilizados pelos participantes. ....	17
Figura 8: Seleção do processo de reconstrução. Antes da reconstrução os marcadores não são visíveis. Após a reconstrução os marcadores ficam visíveis. ....	20
Figura 9: Resultado final do processo de identificação manual. ....	21
Figura 10: Trajetórias descritas por um participante Leader e o respetivo participante Follower, transportando o objeto de 1.5 m de comprimento (condição A). As regiões contornadas a verde indicam as regiões de análise. ....	22
Figura 11: Trajetórias descritas por um participante Leader e o respetivo participante Follower, transportando o objeto de 2.5 m de comprimento (condição B). As regiões contornadas a verde indicam as regiões de análise. ....	23
Figura 12: Representação das linhas de segmentação da região de interesse correspondente à Fase 1. Nota: a resolução das linhas de segmentação aqui ilustradas é de 0.05 m. ....	24
Figura 13: Representação das linhas de segmentação da região de interesse correspondente à Fase 2. Nota: a resolução das linhas de segmentação aqui ilustradas é de 5/65 rad ....	25
Figura 14: Representação das linhas de segmentação da região de interesse correspondente à Fase 3. Nota: a resolução das linhas de segmentação aqui ilustradas é 0.05 m. ....	26
Figura 15: Distância do segmento de reta $Robj$ ao ponto $W$ . A vermelho encontra-se representado o paralelogramo definido pelos vetores $Pobj$ e $PHW$ ....	29
Figura 16: Verificação se o ponto $W$ se encontra ou não fora do comprimento da reta. Verificação relativa ao ponto $Pobj, H$ [30]. ....	30

Figura 17: Verificação se o ponto $W$ se encontra ou não fora do comprimento da reta. Verificação relativa ao ponto $P_{obj}, L$ [30].	31
Figura 18: Análise da normalidade através de gráficos qqplot. a) - Representa uma zona do percurso em que a normalidade pode ser assumida. b) - Representa uma zona do percurso onde a normalidade não pode ser assumida.	32
Figura 19: Representação das trajetórias descritas por todos os participantes na condição A.	35
Figura 20: Representação das trajetórias descritas por todos os participantes na condição B.	35
Figura 21: Distância do participante Leader do par 7 à parede esquerda, na condição A.	37
Figura 22: Distância dos participantes Leader à parede esquerda, na condição A.	37
Figura 23: Distância do participante Leader do par 9 à parede esquerda, na condição A, nos 12 ensaios realizados.	38
Figura 24: Mediana e intervalos de variação das distâncias dos participantes Leader à parede esquerda, nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios da condição A, bem como o respetivo teste U de Mann-Whitney.	39
Figura 25: Distância do participante Leader do par 8 à parede esquerda, na condição B.	40
Figura 26: Distância dos participantes Leaders à parede esquerda, na condição B.	41
Figura 27: Distância do participante Leader do par 10 à parede esquerda, na condição B, nos 12 ensaios realizados.	42
Figura 28: Mediana e intervalos de variação das distâncias dos participantes Leader à parede esquerda nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios, na condição B, bem com o respetivo teste U de Mann-Whitney.	42
Figura 29: Mediana e intervalos de variação da distância dos participantes Leader à parede esquerda em ambas a condições, bem como resultados do teste U de Mann-Whitney.	43
Figura 30: Mediana e intervalos de variação da distância do participante Follower do par 3 à parede esquerda e da distância do objeto ao canto transportado pelo mesmo par.	44
Figura 31: Mediana e intervalos de variação da distância de todos os participantes Follower à parede esquerda e da distância dos respetivos objetos transportados ao canto, na condição A.	45
Figura 32: Comparação da distância mantida à parede esquerda pelos participantes Follower entre os 3 primeiros e os 3 últimos ensaios, na condição A, bem como o respetivo resultado do teste U de Mann-Whitney.	46
Figura 33: Distância do participante Follower do par 6 à parede esquerda, na condição B, e a respetiva distância do objeto transportado ao canto.	47

Figura 34: Distância dos participantes Followers à parede esquerda, na condição <i>B</i> , e a distância do objeto transportado ao canto. ....	48
Figura 35: Mediana e intervalos de variação da distância dos participantes Followers à parede esquerda, nos 3 primeiros ensaios e nos 3 últimos, na condição <i>B</i> , bem como o resultado do correspondente teste U de Mann-Whitney. ....	49
Figura 36: Mediana e intervalos de variação da distância dos participantes Followers à parede esquerda, em ambas as condições. ....	50
Figura 37: Perfil de velocidade do participante Leader do par 4, na condição <i>A</i> . ....	51
Figura 38: Perfil de velocidade de todos os participantes Leader, na condição <i>A</i> . ....	52
Figura 39: Perfis de velocidade dos participantes Leader nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios da condição <i>A</i> , bem como o respetivo teste estatístico de U de Mann-Whitney ....	53
Figura 40: Perfil de velocidade do participante Leader do par 2 na condição <i>B</i> . ....	54
Figura 41: Perfil de velocidade dos participantes Leader na condição <i>B</i> . ....	54
Figura 42: Comparação dos perfis velocidade dos participantes Leader entre os primeiros 3 ensaios e os últimos 3 ensaios da condição <i>B</i> . ....	55
Figura 43 Velocidade do participante Follower do par 9, na condição <i>A</i> . ....	56
Figura 44: Velocidade dos participantes Followers, na condição <i>A</i> . ....	57
Figura 45: Perfil de velocidade dos participantes Follower nos 3 primeiros ensaios e nos 3 últimos, bem como o resultado do respetivo teste estatístico U de Mann-Whitney. ....	57
Figura 46: Perfil de velocidade do participante Follower do par 9, na condição <i>B</i> . ....	58
Figura 47: Perfil de velocidade de todos os participantes Follower, na condição <i>B</i> . ....	59
Figura 48: Perfil de velocidade dos participantes Follower nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios. São também visíveis os resultados do teste U de Mann-Whitney. ....	59
Figura 49: Orientação da cabeça do participante Leader do par 1, na condição <i>A</i> . ....	60
Figura 50: Orientação da cabeça dos participantes Leader. ....	61
Figura 51: Orientação da cabeça do participante Leader do par 1 na condição <i>B</i> . ....	62
Figura 52: Orientação da cabeça dos participantes Leaders, na condição <i>B</i> . ....	62
Figura 53: Orientação da cabeça do participante Follower do par 5 e orientação do respetivo objeto transportado, na condição <i>A</i> . ....	63
Figura 54: Orientação da cabeça dos participantes Followers e dos respetivos objetos transportados, na condição <i>A</i> . ....	63
Figura 55: Orientação da cabeça do participante Follower do par 5 e correspondente orientação do objeto transportado, na condição <i>B</i> . ....	64

Figura 56: Orientação da cabeça dos participantes Followers e correspondentes orientações dos objetos transportados, na condição B. .... 65



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação e apresentação do problema

Nos últimos anos, a interação humano-robô tem vindo a afirmar-se como uma área de investigação muito importante, tendo como principal objetivo o desenvolvimento de robôs capazes de ajudar os humanos em tarefas do quotidiano. Um exemplo deste tipo de tarefas é o transporte de objetos largos e compridos, que um humano sozinho é incapaz de fazer devido à dificuldade de manuseamento deste tipo de objetos.

Tarefas de transporte cooperativo são tarefas ideais para serem desenvolvidas por equipas humano-robô [1]. Tal tem motivado muitos investigadores para o desenvolvimento de robôs capazes de cooperar com humanos neste tipo de tarefas, ajustando o seu comportamento tendo em conta as ações dos parceiros humanos. Um importante aspeto desses trabalhos é a pouca atenção dada às estratégias usadas por seres humanos quando confrontados com este tipo de tarefas. Para que os robôs possam ser usados em tarefas do dia-a-dia para ajudar os humanos, devem ser capazes de interagir com parceiros humanos com um nível de fluência muito próximo à existente na interação unicamente humana [2]. Se os humanos forem capazes de reconhecer e interpretar os movimentos dos robôs mais facilmente os aceitarão como parceiros, levando a que as tarefas sejam executadas de forma mais eficiente [3]. Schubö et al. [4] acreditam que uma coordenação fluida entre humanos e robôs é mais facilmente atingida se as regras do movimento humano estiverem presentes nos robôs. No entanto, a implementação deste tipo de estratégias ainda está na sua infância (S. Glasauer et al. [5]).

Tipicamente, a estratégia usada neste tipo de robôs é do tipo *Leader-Follower* [6], onde o *Leader* (geralmente um humano) tem informação sobre o destino final escolhendo o melhor caminho para lá chegar. O *Follower* apenas tem como objetivo ajudar o *Leader* a completar a tarefa, preferencialmente sem colisões. Neste tipo de tarefas o percurso nem sempre é linear, levantando muitas questões em relação à coordenação exigida quando uma curvatura é encontrada, tais como:

- Será que o *Leader* deve ter em conta as dificuldades do *Follower*? Se sim, que medidas deve tomar?

- Será que o *Follower* simplesmente segue o *Leader* ou também deve ser responsável por simplificar a tarefa do mesmo? Se sim, como é que isso se traduz na sua trajetória?
- Que impacto tem o tamanho do objeto neste tipo de tarefas?
- Que papel tem a experiência adquirida ao longo de sucessivas repetições da mesma tarefa?

Motivados pela necessidade de dar resposta a estas questões e pela escassez de estudos que descrevam o comportamento humano em tarefas de transporte cooperativo, é proposto o desenvolvimento de uma experiência em que equipas humano-humano realizam uma tarefa de transporte cooperativo. De modo a ser possível a análise das trajetórias dos humanos é necessário que os participantes sejam monitorizados ao longo da experiência. Assim sendo, foi usado o sistema de *motion tracking* desenvolvido pela *Vicon*, que é um dos sistemas mais usados em estudos de biomecânica e na indústria cinematográfica. Este sistema já tinha sido usado na experiência desenvolvida por Streuber e Chatziastros [7] tendo sido responsável pelo *tracking* dos movimentos de dois participantes dentro de uma sala enquanto transportando cooperativamente um objeto.

Para ser possível uma transposição das conclusões para agentes robóticos, a experiência deverá ser desenvolvida sobre circunstâncias similares, às existentes numa interação humano-robô. Assim, a estratégia de transporte usada deverá ser do tipo *Leader-Follower* e com imposição de limitações aos participantes, com o objetivo de reduzir a quantidade de informação ao alcance dos mesmos, aproximando assim da quantidade de informação que um robô (e.g. Dumbo [8]) consegue obter através do seu sistema sensorial. Este último aspeto é muito importante pois quando existe informação suficiente sobre a tarefa (e.g. informação sobre o ambiente onde vai ser desenvolvida, informação visual, localização do destino final e informação tátil) esta torna-se relativamente fácil de executar. A dificuldade aumenta à medida que a quantidade de informação disponível vai diminuindo.

Com a finalidade de perceber como os participantes se coordenam perante uma curvatura, sendo este um cenário frequente neste tipo de tarefas de transporte, foi construído um corredor em T, cuja largura obriga a coordenação no transporte. Para efetuar a experiência foram necessários voluntários sem nenhum conhecimento sobre a tarefa que iriam executar de modo a não deturpar as conclusões a tirar. A *Figura 1* ilustra a realização da experiência proposta nesta dissertação.

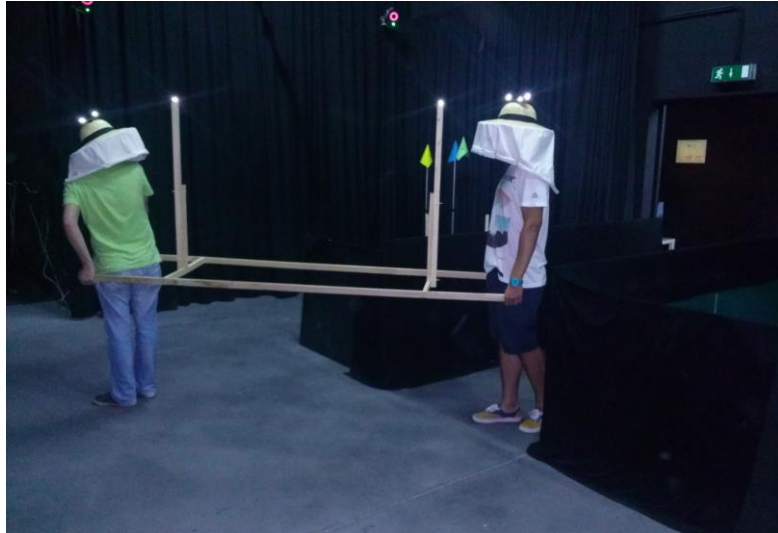


Figura 1:Um par de participantes a executar um ensaio da experiência.

## 1.2 Estado de Arte

Focado na área da interação humano-robô, muitos esforços têm sido desenvolvidos com o objetivo de avaliar as capacidades dos humanos e dos robôs. O grande objetivo desta área de investigação é o desenvolvimento de tecnologias capazes de produzir um nível de interação muito próximo ao existente numa interação humano-humano. Por definição, coordenação é o ato de trabalhar em conjunto de modo a atingir um determinado objetivo (e.g. transportar um objeto de um ponto inicial para um ponto final). Assim, o sucesso da interação humano-robô é obtido tendo em conta vários aspetos, sendo eles:

- Autonomia dos intervenientes;
- Natureza da troca de informação entre os intervenientes;
- Estrutura da equipa;
- Tarefa na qual vai ser inserido;
- Adaptação e aprendizagem;

Juntar estes fatores requer um trabalho interdisciplinar não só de Engenharia e da Matemática, mas também de áreas como Ciências Cognitivas e da Psicologia [9].

Ao longo dos anos, vários investigadores têm apresentado estratégias de controlo para robôs efetuarem tarefas de transporte de um objeto em cooperação com um humano. Desde sempre, uma das grandes preocupações é a segurança do humano ao interagir com o robô. Goswani et

al. [10] introduziu o conceito de robótica passiva ao qual associa todos os sistemas que se movem através de uma força externa. Um exemplo deste tipo de sistemas foi desenvolvido por Fukaya et al. [11], em que os robôs eram similares a carrinhos que eram empurrados pelos humanos onde o controle era efetuado sobre a força de travagem de cada uma das rodas permitindo seguir um determinado trajeto. Estes sistemas não se revelaram estáveis em algumas situações, mais especificamente, naquelas em que para manter o sistema no percurso desejado, era necessária uma força e uma direção que não conseguia ser gerada pelos travões [12]–[14].

Baseado ainda nos princípios da robótica passiva, Hirata e Kosuge [15] defenderam que era mais seguro efetuar o transporte com múltiplos robôs pequenos e mais leves do que um robô maior e mais pesado, pois a força cinemática é menor já que se encontra dividida pelos vários robôs em vez de se concentrar apenas em um. Consequentemente, apresentaram os *DR Helpers*, que são robôs autônomos desenvolvidos para transportar objetos largos e/ou pesados em conjunto com um humano. No entanto, segundo os autores [16], o humano não consegue facilmente manipular o objeto com facilidade, tornando a tarefa ainda mais complicada quando existe a necessidade de aplicar uma força para se desviar de obstáculos. Para solucionar este problema Hirata et al. [16] propuseram que cada robô deve de possuir um mapa do ambiente, assumindo que este é conhecido (e.g: escritórios, casa, etc.). Resultados mostraram que cada robô é capaz de navegar gerando um caminho, evitando obstáculos conhecidos. De salientar que o humano continuava a ser responsável por aplicar a força que fazia com que robôs se movimentassem. Contudo, robôs com mapeamento do ambiente têm aplicabilidade limitada pois qualquer alteração efetuada no ambiente teria de ser implementada em cada um dos robôs. Um outro problema é que se por algum motivo surgisse um obstáculo desconhecido (e.g: cadeira fora do sitio, caixa por arrumar, etc.), o robô não era capaz de adequar o seu trajeto acabando por colidir.

Além da robótica passiva, outras estratégias de controle foram desenvolvidas, nomeadamente usando a configuração *Leader-Follower*. Como exemplo, as estratégias denominadas de *compliant motion*. Ikeura et al. [17] inspiradas na análise das características comportamentais expressas por equipas humano-humano durante o transporte cooperativo, defendiam que esse comportamento pode ser expresso por um controle de impedância baseado nos princípios de impedância mecânica propostos por Hogan [18]–[20]. O controle de impedância relacionava a força aplicada no objeto com a velocidade e aceleração do robô. Por exemplo, se o humano pretendesse transportar um objeto em linha reta, bastava-lhe puxar o objeto. A força exercida

pelo humano era sentida no *end-effector* do robô provocando um aumento de velocidade, e o movimento era iniciado na direção da força sentida. Do mesmo modo, quando o humano parava, a força deixava de ser sentida fazendo com que o robô também parasse. Neste estudo, os autores concluíram também que o fator de amortecimento é importante quando as características humanas são aproximadas a um controlo de impedância. O fator de amortecimento é a variável que descreve o quão rápido o robô responde à força sentida no seu *end-effector*. Desta forma, numa interação humano-robô, quando o fator de amortecimento era alto, os humanos não podiam realizar movimentos tão rápidos como se de uma interação humano-humano se tratasse. Se o fator de amortecimento fosse baixo já era possível obter maior rapidez, mas o posicionamento tornava-se instável (o sistema ficava demasiado sensível a oscilações). Este fenómeno deveu-se ao facto de ter sido usado um controlo de impedância constante. Ikeira e Inooka [21] propuseram um controlo de impedância variável que solucionava o problema permitindo o desenvolvimento de ações rápidas mantendo a estabilidade do posicionamento.

Pereira et al. [22], usando a configuração *Leader-Follower* (*Leader* era Humano e o *Follower* era um robô), apresentou uma estratégia de controlo não linear que permitia o robô efetuar uma tarefa de transporte cooperativo de um objeto com um humano. Ao contrário de outras aproximações, o sensor responsável por medir a força/momento colocado no *end-effector* do robô foi substituído por 2 sensores de distância para obter o estado da carga. Nesta implementação, foi assumido que o destino final e o comprimento do objeto a transportar eram conhecidos *a priori*. Os resultados mostraram que o robô tinha um comportamento estável. No entanto, não efetuava desvio de obstáculos, obrigando o humano a adequar a trajetória para que não houvesse colisões.

Por último, na estratégia apresentada por Bicho et al. [23], um robô era capaz de transportar um objeto longo cooperativamente com um humano através de um controlo baseado num sistema dinâmico não linear. A navegação é gerada com base na posição atual, posição final e informação local (recolhida pelo sistema sensorial) dos obstáculos. De salientar que o robô não tinha nenhum conhecimento do ambiente em que se encontrava inserido, ajustando o seu comportamento baseado nos sensores de distância, permitindo evitar obstáculos ao longo do percurso. Os resultados demonstraram que o sistema era estável, robusto a perturbações e que as trajetórias efetuadas pelo robô eram suaves. Este trabalho foi melhorado [8], tendo sido desenvolvido um manipulador com o objetivo de melhorar a manipulação do objeto. Foi

também implementada uma comunicação unidirecional em que o robô expressava as suas dificuldades, dando indicações ao parceiro humano para agir em conformidade. Nesta implementação, o nível de fluência da interação humano-robô ainda está longe da existente numa interação humano-humano.

Algumas estratégias continuam a ser desenvolvidas e outras ajustadas. Exemplo disso, é a estratégia apresentada por De Carli et al. [24] que é baseada num controlo de impedância ao qual foi adicionada a capacidade de perceber as intenções do humanos, ou seja, caso o humano pretendesse que o robô adotasse um novo percurso, este teria de puxar suficientemente o robô para fora desse percurso obrigando-o a recalcular um novo. Outro exemplo desta adaptação é a estratégia apresentada por Arai et al. [25] que, segundo os autores, vem solucionar o problema das estratégias baseadas no controlo de impedância ([17], [21]) nomeadamente, durante o transporte, a força exercida pelo humano podia causar o deslocamento lateral do objeto no *end-effector* do manipulador. O que Arai et al. propuseram foi a adição de uma restrição virtual que impede esse deslocamento lateral do objeto.

Um fator a ter em conta para o ajuste/desenvolvimento de estratégias, são as conclusões obtidas em experiências realizadas com humanos. Rahman et al. [26] efetuaram uma experiência que estuda as composições *master-master* e *Leader-Follower* de dois humanos a moverem um objeto. Concluíram que durante a composição *master-master*, ambos os humanos exerciam força para comandar o objeto, enquanto na composição *Leader-Follower*, apenas o *master* exercia força para comandar o objeto e o *Follower* seguia o movimento. Posto isto, apresentaram a estratégia *Master-Follower* (mais conhecida como *Leader-Follower*) como a composição adequada para transporte cooperativo de objetos entre um humano e um robô. Esta composição foi posteriormente usada em muitas estratégias de controlo desenvolvidas para tarefas de transporte.

Shahriman et al. [27] realizaram uma experiência humano-humano usando a estratégia *Leader-Follower* que procurou estudar qual a informação sensorial usada pelos humanos e em que momentos, de forma a permitir uma boa cooperação. Foi também objetivo desta experiência perceber como é que os humanos reagem um com o outro e qual a melhor condição para realizar uma tarefa cooperativa. Resultados mostraram que o ideal para obter uma boa cooperação é sincronizar o início de ambos os intervenientes e, simultaneamente, dar informação a ambos os participantes acerca do destino final.

Bakar et al. [28] realizaram uma experiência em que dois humanos transportaram um objeto cooperativamente em várias direções usando a estratégia *Leader-Follower*. Durante a tarefa foram dadas informações ao *Follower* para este completar a tarefa. Mediante as várias condições, os autores mediram a fluência da interação entre os humanos com o objetivo de perceber quais as condições ideais para uma interação fluída. Os resultados mostraram que uma cooperação ideal entre os humanos pode ser atingida se estes se moverem na mesma trajetória sincronizando ambos os ritmos (começarem a tarefa ao mesmo tempo) já que, quando o *Follower* tem informação suficiente sobre a tarefa, esta gera o seu próprio comportamento, não tendo em conta a trajetória descrita pelo *Leader*.

Streuber e Chatziastros [7] realizaram uma experiência com equipas humano-humano, executando uma tarefa de transporte, cujo objetivo era perceber qual a importância da informação tátil e também se o facto de o parceiro ser visível torna a tarefa mais ou menos complicada. Para tal mediram o comprimento da trajetória e o número de colisões à medida que as condições de visão iam sendo alteradas. De salientar que esta experiência recorreu ao uso da realidade virtual (onde se encontra subjacente um sistema de captura de movimento) para controlar o que era visto pelos participantes. Os resultados demonstraram que a informação tátil é importante pois diminui a dificuldade da tarefa. Concluíram também que quando o objeto a transportar não era visível o caminho percorrido pelos participantes aumentava, demonstrando um alargamento da trajetória com objetivo de maximizar a margem de segurança tentando evitar colisões.

Para além de experiências capazes de analisar o comportamento humano, têm sido realizadas também experiências que analisam outros aspetos, sendo um exemplo, a influência que a aparência do robô têm na interação humano-robô [29], [30].

Esta dissertação pretende ser um contributo para o conhecimento existente acerca da coordenação entre humanos em tarefas de transporte cooperativo, mais especificamente, sobre como é estes se coordenam no espaço (e.g. estratégias adotadas) e qual o papel de cada um dos intervenientes. Idealmente, este conhecimento poderá ser aplicado no desenvolvimento de estratégias de controlo que possam ser implementadas para melhorar o desempenho de robôs envolvidos neste tipo de tarefas.

### **1.3 Âmbito**

A primeira fase do trabalho foi a idealização de uma experiência capaz de responder às questões de investigação expostas nesta dissertação. Posteriormente, foi elaborada e submetida uma proposta à Comissão de Ética da Universidade do Minho com o objetivo de obter a aprovação que permitisse a realização de experiências com humanos (Anexo I). Com a chegada da mesma iniciou-se a preparação da experiência, que envolveu o estudo do sistema de captura a fim de perceber quais as suas limitações e qual a melhor configuração (orientação da câmaras de modo a obter uma zona de captura capaz de abranger o cenário idealizado), montagem de cenário, construção de recursos materiais capazes de condicionar os participantes e ao mesmo tempo permitirem o *tracking* dos mesmos, construção dos objetos a transportar, estabelecimento do procedimento a tomar com os participantes e a publicidade para a recruta dos mesmos.

Após a recolha de dados, foi realizado um processamento e exportação dos mesmo a fim de serem estatisticamente analisados para ser possível a obtenção de conclusões. De salientar que se trata de uma experiência pioneira na análise efetiva de trajetórias desenvolvidas por humanos em situações de transporte cooperativo de objetos.

### **1.4 Organização da dissertação**

No capítulo 2 está descrita a metodologia da experiência onde é detalhadamente explicado todo o processo de conceção da experiência. É feita uma apresentação dos requisitos da mesma, do sistema de captura, respetiva configuração e recursos materiais desenvolvidos para o seu uso. Ainda fazendo parte da metodologia, é explicado o processamento aplicado aos dados e a sua exportação, finalizando com a explicação detalhada da escolha das variáveis descritivas das trajetórias e o respetivo processo de cálculo.

No capítulo 3 são apresentados os resultados da análise realizada sobre os dados recolhidos, onde é feita uma análise crítica sobre os mesmos.

Finalmente, no capítulo 4 são apresentadas as conclusões e o trabalho futuro.



## 2. METODOLOGIA DA EXPERIÊNCIA

Para realizar esta experiência foi emitida uma proposta à Comissão de Ética da Universidade do Minho (Anexo I), a qual mereceu a aprovação por parte de todos os seus membros. Obtida a aprovação, foi realizada a experiência que é descrita em detalhe neste capítulo, dividido em 3 partes: *design* experimental; processamento dos dados; e análise dos dados.

### 2.1 *Design*

A experiência foi realizada no Laboratório de Visualização e Percepção da Universidade do Minho, tendo sido necessário projetar a experiência tendo em conta as condições do mesmo (e.g. dimensões das instalações e sistema de captura). A experiência consistiu na execução repetitiva de uma tarefa de transporte de um objeto por dois agentes humanos. O sistema de *motion tracking* utilizado para monitorizar os participantes durante a tarefa foi o desenvolvido pela *Vicon*, que se encontrava instalado no laboratório. De modo a estudar as trajetórias definidas pelos participantes numa curvatura, o cenário consistiu num corredor seguido de uma curvatura de 90 graus à esquerda ou à direita (formato de corredor em T). Com o objetivo de atenuar a repetibilidade da experiência, foram estabelecidos dois destinos finais, um à esquerda e outro à direita da curvatura, permitindo a alternância aleatória da localização alvo para qual o objeto tinha de ser transportado. Nesta experiência foram transportados dois objetos de comprimentos diferentes, definindo assim 2 condições experimentais:

- Condição A: Transporte do objeto de 1.5 m de comprimento de 0.5 m de largura;
- Condição B: Transporte do objeto de 2.5 m de comprimento de 0.5 m de largura;

No total foram realizados 48 ensaios, 24 em cada uma das condições definidas. Dentro de cada condição foram executados 12 ensaios com curvatura à esquerda e 12 ensaios com curvatura à direita.

Com o objetivo de aproximar o mais possível a quantidade de informação à qual os participantes têm acesso, à quantidade de informação a que um robô (e.g. *Dumbo* [8]) consegue aceder através do seu sistema sensorial, foram impostas algumas restrições aos participantes:

- Os participantes não podiam comunicar entre si. Apesar de a comunicação já ter sido implementada neste robô, é unidirecional permitindo apenas que o robô expresse as suas dificuldades;

- Os participantes tinham o campo de visão limitado por um chapéu com tapamento, ficando apenas visíveis alguns metros em seu redor. Os robôs como o *Dumbo* [8] não têm sistema de visão, apenas têm informação sensorial pouco metros à sua volta através dos seus sensores infravermelhos;
- O participante a desempenhar o papel de *Follower* teve a sua audição limitada através de um aparelho auditivo, de modo a que não lhe fosse possível obter nenhuma indicação do destino a seguir (e.g. ouvir passos do outro participante);

De salientar que os participantes que desenvolveram esta experiência não tinham qualquer conhecimento da tarefa nem do cenário onde esta iria ser realizada. Os participantes aceitaram o desafio voluntariamente, sendo todos alunos da Universidade do Minho com idades compreendidas entre os 18 e os 25 anos. No total foram usados 20 participantes organizados em 10 pares, sendo 2 pares femininos e 8 pares masculinos.

As subsecções seguintes apresentam mais detalhadamente cada uma das fases do processo de *design* da experiência, passando pela configuração do sistema de captura, pela construção do cenário, dos objetos a transportar e dos chapéus limitadores do campo de visão. Por último é explicado o procedimento adotado nas experiências.

### 2.1.1 Cenário

A sala onde a experiência foi realizada tem como dimensões, 10 m de comprimento e 6 m de largura. No entanto, a área visível pelo sistema de captura, apesar de ser ajustável (através do ajuste da orientação das 6 câmaras pertencentes ao mesmo), não excedia os 6 m de comprimento e 4 m de largura a partir do centro da sala. Esta limitação deve-se ao facto de apenas existirem 6 câmaras no laboratório. Tendo em conta o espaço disponível foi construído o cenário como ilustrado na Figura 2. O corredor foi construído com a ajuda de painéis dispostos horizontalmente tendo o corredor, no seu total, 3 m de comprimento e 1.3 m de largura. Este comprimento foi adotado com o objetivo de colocar a zona de curvatura no centro da área de captura do sistema, de modo a não existirem falhas devido a oclusões. A largura do corredor é igual à largura da porta de entrada no laboratório, permitindo que os participantes começassem a experiência fora da área de captura resultando num melhor aproveitamento do espaço. A altura dos painéis que delimitavam o corredor era de 1 m. De modo a não serem visíveis marcas, o corredor foi coberto por um tecido preto, escondendo os apoios dos painéis e tornando todo o corredor homogéneo, sem marcas passivas de servirem de referência para os participantes.

Como referido anteriormente foram definidas duas localizações alvo, uma à esquerda e outra à direita. As marcas indicadoras do alvo foram colocadas a 2.5 m das extremidades do corredor. Esta medida era a mínima necessária para que os participantes *Followers* parassem para lá da curvatura quando transportando objeto de 2.5 m de comprimento. Com o cenário construído, este foi cuidadosamente limpo, para remoção de qualquer marca passível de ser usada como ponto de referência. Esta limpeza foi importante uma vez que a existência de pontos de referência poderia permitir que os participantes se orientassem durante a experiência. Importa salientar que a entrada da sala não se encontrava centrada fazendo com que o cenário estivesse ligeiramente deslocado para o lado direito.

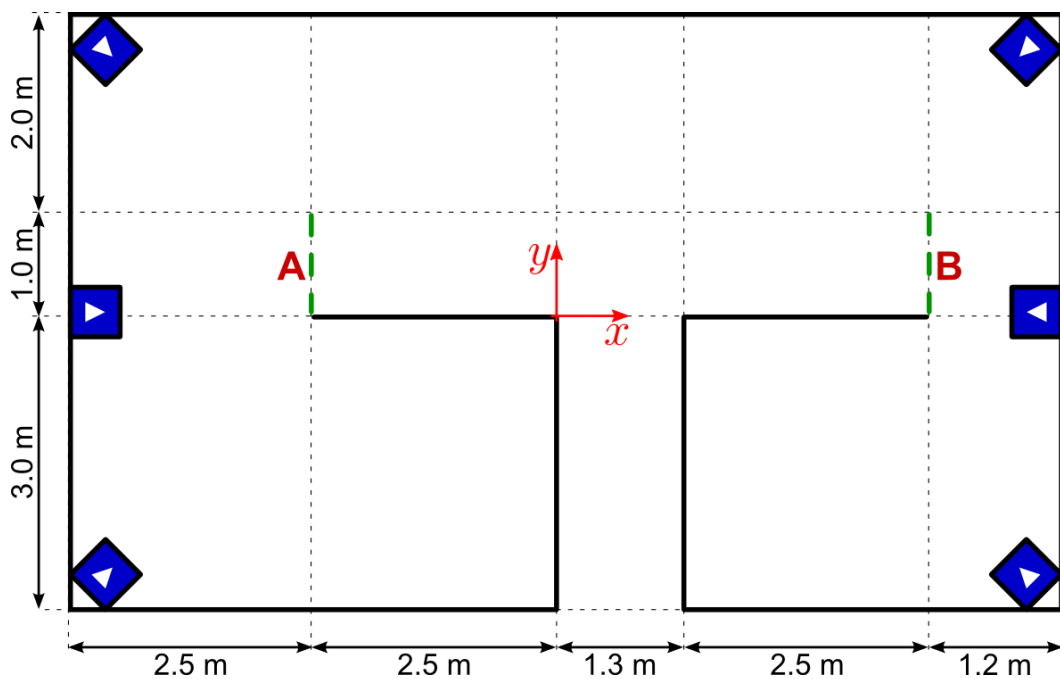


Figura 2: Planta do cenário onde decorreu a experiência. Os quadrados desenhados a azul representam a posição das câmaras do sistema de captura. O referencial usado na experiência encontra-se ao nível do solo no vértice da parede que delimita a curvatura à esquerda.

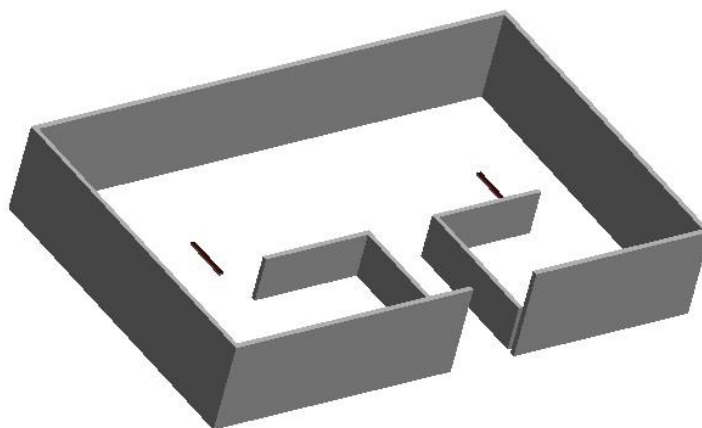


Figura 3: Vista em 3D do cenário construído.

### 2.1.2 Sistema de Captura de Movimento


O sistema de *motion tracking* instalado no laboratório é o *Vicon System* desenvolvido pela *Vicon*. No mercado existem vários sistemas de *motion tracking* os quais podem ser divididos em duas grandes gamas, óticos e não-óticos. O *Vicon System* é um sistema ótico que utiliza dados capturados a partir de sensores de imagem (câmaras) para determinar a posição 3D de um marcador refletor.





A aquisição de dados é, tradicionalmente, implementada utilizando marcadores fixados ao objeto/sujeito. Esta gama de sistemas óticos subdivide-se em gamas mais pequenas seguindo um critério baseado no tipo de marcadores usados. Estes podem ser ativos, passivos, ativos modulados temporalmente ou semi-passivos impercetíveis [31]. O sistema usado nesta experiência utiliza marcadores passivos, sendo estes feitos de um material refletor que reflete a luz na gama dos infravermelhos emitida pela câmara (esta luz é gerada em torno da lente da câmara). Mais do que uma escolha, o uso deste sistema acabou por ser um requisito pois era o único disponível no laboratório onde a experiência foi desenvolvida. No entanto quando comparado com outros sistemas este apresenta algumas vantagens. Comparando com o sistema de *motion tracking* lançado pela *Phaspace Inc.*, o *PhaseSpace*, sendo este um sistema ótico que usa marcadores ativos (LED's), as grandes vantagens do *Vicon* estão associadas ao facto de não haver fios ligados aos participantes, sendo apenas necessário a fixação de marcadores nos pontos corporais que necessitam de ser capturados. Além disso, possui um *software* que faz a aquisição, processa e exporta os dados para poderem ser usados por outros programas de análise. Versões mais recentes já possuem exportações diretas para alguns *softwares* de cálculo

(e.g. *MATLAB*). No entanto, a versão usada ainda não possuía essa funcionalidade (versão: 1.8). Contrariamente ao *Vicon*, para obter a localização dos pontos pretendidos através do sistema *Phasespace*, é preciso fixar um LED ao respetivo ponto e conectá-lo a um HUB através de um cabo. No caso de ser necessário realizar o *tracking* de múltiplos pontos, a quantidade de fios envolvidos torna-se difícil de gerir. Para além disso, no caso de uso de capacetes, o facto de serem necessários cabos, pode provocar uma tensão no mesmo que pode levar os participantes a não mexerem a cabeça, chegando mesmo a limitar o movimento da cabeça do participante se não forem tomadas as devidas precauções. Outra limitação deste sistema é a inexistência de um *software* capaz de gerir a captura, sendo por isso necessário o desenvolvimento de programas dedicados que façam pedidos ao servidor para obter a localização de um dado ponto, sendo a exportação dos dados feita através de escrita em ficheiros de texto. A frequência da experiência depende do intervalo de tempo estabelecido no timer do programa desenvolvido. Tendo em conta todos os pontos, acima, evidenciados, é seguro dizer que o *Vicon system*, apesar de nesta experiência o seu uso ser um requisito, é um dos melhores sistemas para este tipo de experiências. É necessário salientar que quanto mais câmaras estes sistemas possuírem, maior é área de captura disponível, originando uma melhor qualidade dos dados recolhidos (menos falhas devido a oclusões).

O sistema *Vicon* existente no laboratório é constituído por 6 câmaras MX F20 de 2 Megapixéis, com uma frequência de captura que pode ir até aos 500 Hz (a frequência usada nesta experiência foi de 200 Hz). A disposição das câmaras pode ser vista na Figura 2. Este laboratório encontra-se também equipado com o pacote de *software* para as *Ciências da Vida e Animação* que inclui o programa usado na gravação, reconstrução e exportação dos dados, o *Vicon Nexus*.

Como em todos os sistemas de captura, a utilização do *Vicon* implica uma série de operações antes da realização das capturas. O *software* que gere o processo de preparação das câmaras, calibração, gravação e posterior tratamento dos dados é o *Vicon Nexus* (versão usada: 1.8) cuja Interface Gráfica pode ser vista na Figura 4. Nesta é importante salientar o painel de ferramentas que serve para gerir todas as principais funcionalidades do *software*. Este painel possui 5 ícones (destacados a vermelho):

-  - Preparação do sistema: Usado verificar a área de captura, calibrar as câmaras e definir o referencial do mundo;

-  - Sujeito: Usado para definir o nome e os marcadores que constituem o sujeito a ser capturado/identificado;
-  - Captura: Gere a captura, desde nome da sessão, possíveis notas sobre a captura e começo/fim da captura;
-  - Identificação manual: Painel nem sempre usado, no entanto, quando não é feita a identificação do sujeito e/ou a identificação automática não identifica os marcadores corretamente é usado este painel para etiquetar manualmente cada um dos marcadores.
-  - Processamento: Permite aplicar processos aos dados recolhidos (e.g. processo que faz a sobreposição dos dados obtidos por cada uma das câmaras com o objetivo de obter a localização de um marcador). Permite a definição de sequências genéricas de processamento para aplicação nas diversas repetições da experiência.

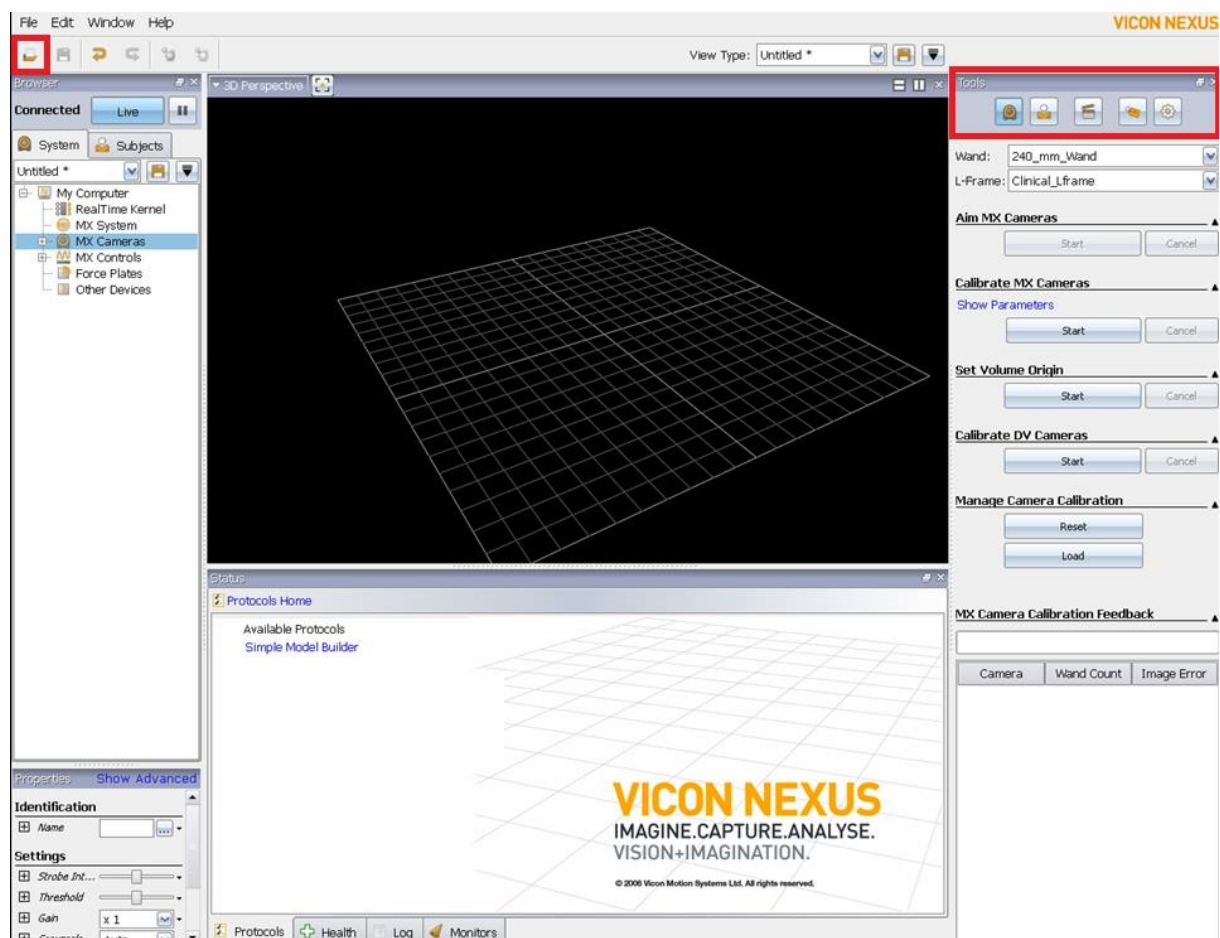


Figura 4: Interface gráfica do utilizador do *Vicon Nexus*. O retângulo a vermelho do lado direito destaca as várias funcionalidades do painel de ferramentas e do lado esquerdo desta o botão que permite gerir a base de dados onde os ensaios são armazenados.

O primeiro passo foi a definição do número de câmaras a usar e a sua respetiva orientação. Nesta experiência foram usadas todas as câmaras disponíveis (6 câmaras). A orientação das mesmas foi ajustada de modo a obter a maior área de captura possível. Foi posteriormente efetuada a calibração das câmaras com o auxílio da *Active Wand*. A *Active Wand* é uma estrutura com 5 LED's cuja posição relativa entre si permite a identificação automática pelo *Vicon Nexus*. O varrimento da área de captura com este dispositivo permite calibrar as câmaras num simples passo, bastando aceder ao painel de ferramentas, mais especificamente à secção de preparação do sistema onde aparece um botão que permite iniciar a calibração. Posteriormente, o *Vicon Nexus* usa a gravação da calibração para determinar a disposição, posição e orientação, das câmaras para que a obtenção correta da localização dos marcadores seja possível. Após a calibração segue-se a definição do referencial a usar que nesta experiência, (ver Figura 2). A definição do referencial encontra-se no mesmo painel da calibração referido anteriormente. Com o sistema devidamente configurado, foi criada uma base de dados onde as gravações a serem efetuadas ficaram armazenadas. Para realizar uma captura basta aceder ao painel de ferramentas, nomeadamente ao ícone correspondente à gestão de uma captura (*Figura 4*), atribuir um nome ao ensaio e começar a captura.

Para além de uma correta configuração é necessário ter alguns cuidados com a colocação dos marcadores de modo a obter uma boa qualidade de captura:

- Cada marcador para ser devidamente capturado deve ser visto em todos os instantes da experiência por pelo menos 2 câmaras do sistema de captura;
- Os marcadores devem ser colocados em pontos estratégicos que sejam menos propícios a oclusões durante o movimento;
- Idealmente os participantes devem usar roupa justa ao corpo;
- Os participantes não devem usar roupa e/ou calçado refletor de luz na gama dos infravermelhos. Caso aconteça, a parte refletora deve ser tapada.

Tendo em conta este último aspeto, na subsecção seguinte são descritos os recursos materiais desenvolvidos para o efeito. São apresentados os objetos a transportar pelos participantes e respetivos cuidados na colocação dos marcadores nestes.

### 2.1.3 Objetos transportados

Os objetos a transportar foram construídos em madeira, com a forma de uma maca, com dimensões de 1.5 m × 0.5 m e de 2.5 m × 0.5 m, como pode ser visto na Figura 5. Esta forma foi escolhida para forçar ambos os participantes ao utilizarem os dois braços tal como na experiência de Streuber e Chatziastros [7]. Para poder ser feita a localização e posterior cálculo da orientação da barra foi necessário o uso mínimo de dois marcadores. Estes foram colocados a 0.5 m das extremidades (seguradas por cada um dos participantes) e a 0.25 m das extremidades laterais. Foi acrescentado um suporte para que os marcadores ficassem mais altos e conseqüentemente, menos suscetíveis a oclusões.

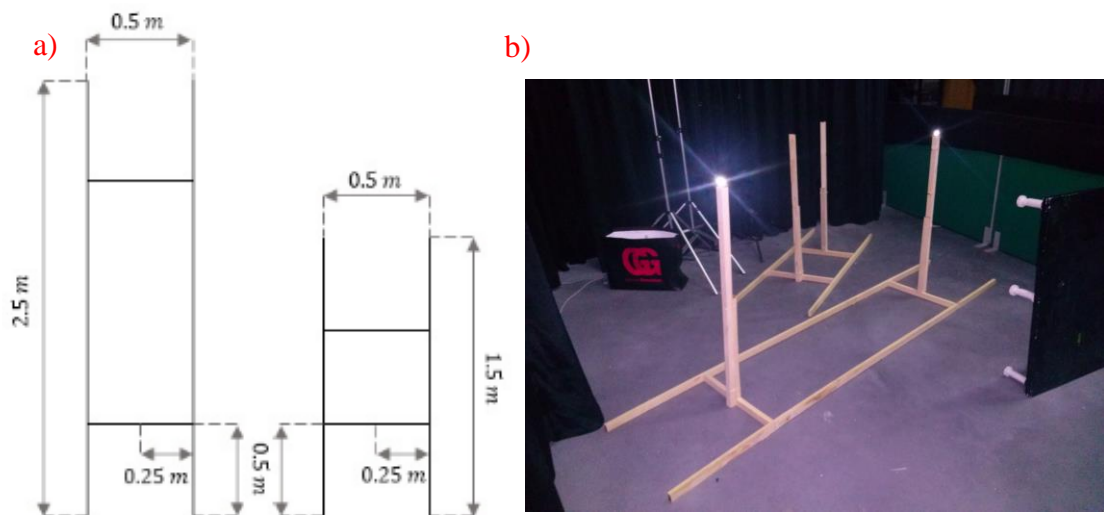


Figura 5: Objetos (macas) construídos para serem transportados pelos participantes. a) Medidas dos objetos contruídos. b) Resultado final dos objetos construídos.

### 2.1.4 Chapéus usados

Para que fosse possível a captura das trajetórias descritas pelos participantes e a respetiva orientação da cabeça foram construídos uns chapéus no topo dos quais se fixou uma estrutura fixa triangular com um marcador em cada vértice (ver Figura 6). Para a localização do participante foi usado o marcador frontal, designado por *Front* ao passo que para o cálculo da orientação da cabeça foram usados os três marcadores.



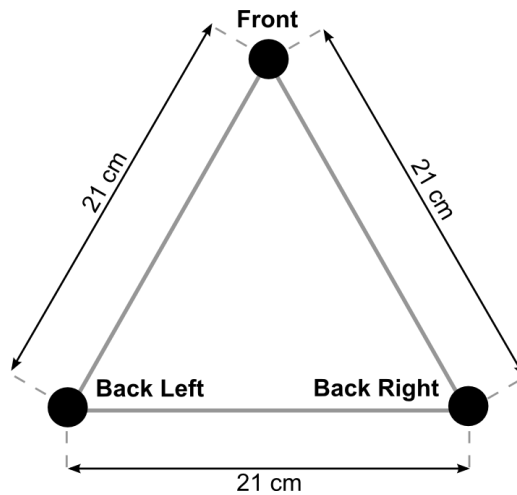


Figura 6: Esquema do triângulo acoplado ao chapéu.

Para além de servir de suporte à estrutura com os marcadores, outra função destes chapéus era a limitar o campo de visão dos participantes. Para tal, foi usado um tecido branco opaco colocado em forma de viseira/pala. De salientar que, o comprimento do tecido era ajustável de acordo com a altura do participante, enquanto a largura do chapéu era única. A Figura 7 mostra o aspeto final dos chapéus a serem usados na experiência.

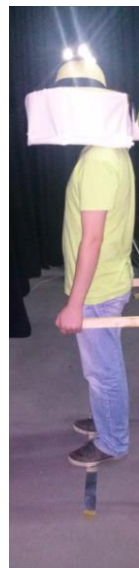


Figura 7: Chapéus utilizados pelos participantes.

Para efetuar o ajuste do campo de visão dos participantes, estes eram colocados junto a marcas no chão, virados um para o outro. As marcas estavam distanciadas 1.5 m e 2.5 m para as condições A e B, respetivamente. O tecido era ajustado em altura até que os pés do participante

à sua frente deixassem de ser visíveis. Com isto conseguia-se que o participante não visse o seu parceiro.

#### 2.1.5 Procedimento

O procedimento adotado na experiência foi estabelecido de modo a garantir que a informação fornecida e ordem dos acontecimentos fossem iguais para todos os pares de participantes.

A recepção aos participantes era realizada fora da sala, onde era feito o agradecimento imediato pela sua disponibilidade. De seguida era-lhes fornecida uma breve explicação sobre o enquadramento e âmbito da experiência, sendo-lhes explicado sumariamente a sucessão de eventos que iriam acontecer durante a experiência e a que condições estes iriam ser expostos. Foram informados acerca da estratégia que iria ser usada tendo sido dado algum tempo para que o par decidisse o papel (*leader* ou *follower*) que cada um iria desempenhar na experiência. Estando todos os pormenores esclarecidos, foi pedido aos participantes que lessem e assinassem o consentimento informado das respetivas participações (Um exemplo pode ser visualizado no Anexo 2). Foram também informados que tinham total liberdade para abandonarem a experiência em qualquer momento.

Concluída a fase introdutória, dava-se início à preparação dos participantes para a experiência. De notar que durante esta fase, os participantes não tiveram qualquer contato com o cenário onde iria decorrer a experiência. Em primeiro lugar eram colocados e ajustados os chapéus de cada um dos participantes. Posteriormente era explicado ao participante *Follower* que este apenas tinha como objetivo ajudar o participante *Leader* a transportar um objeto até à posição final, preferencialmente sem colisões e sem o deixar cair. Os participantes eram também informados que não podiam comunicar durante a realização dos ensaios. Após o esclarecimento de todas as dúvidas, o dispositivo áudio era fornecido ao *Follower* para que este o colocasse de imediato (Estes dispositivo era colocado pelo participante para que este não ouvisse nada durante a experiência, nem mesmo os passos do seu parceiro). Seguidamente, eram dadas informações detalhadas ao participante *Leader* sobre a experiência. Este participante era informado que existiam dois destinos finais, *A* e *B*, e que a informação relativa ao qual se deveria de dirigir era-lhe mostrada no início de cada ensaio, através de um cartão com as palavras *Esquerda* ou *Direita*. Era-lhe também mostrada uma marca similar à que o participante

iria encontrar explicando que este deveria parar sobre a mesma, de preferência no centro da mesma.

Após a preparação os participantes eram transportados para a posição inicial sendo-lhes dado o objeto a transportar. De forma a evitar que os participantes fizessem a contagem dos passos até à curvatura, a posição inicial ia sendo ligeiramente alterada no decorrer dos ensaios, ou seja, em alguns ensaios os participantes começavam mais perto da curvatura e, em outros ensaios, mais longe da mesma (deslocamento apenas vertical ao longo do corredor). Quando os participantes terminavam o percurso, era-lhes removido o objeto e eram transportados de volta para a posição inicial de modo a começarem o próximo ensaio. Este processo repetia-se 24 vezes para a condição A.

Concluídos os ensaios relativos à condição A, os participantes eram transportados para a sala de preparação onde eram reajustados os chapéus (ajustando as alturas do tecido limitadores dos campo de visão do *Leader* e do *Follower*). Após alguns minutos de descanso (durante o qual o participante *Follower* retirava o dispositivo de áudio), os participantes recomeçavam a experiência para os restantes 24 ensaios relativos à condição B.

Finalizada a experiência os participantes retiravam os chapéus, era feito o agradecimento e eram acompanhados à saída. De salientar que, antes destes abandonarem o edifício onde decorreu a experiência, era-lhes pedido para não comentarem qualquer conteúdo da experiência com outras pessoas, a fim de manter as mesmas condições iniciais para todos os participantes.

## 2.2 Processamento dos Dados

Após o processo de recolha de dados, estes foram processados e tratados para serem analisados por outro *software*. Nesta secção é explicado todo o processamento aplicado aos dados, desde a captura até à exportação.

Como referido na secção 2.1.2, os dados foram capturados usando o *Vicon Nexus*. Para cada ensaio, o *software* armazenou a informação capturada por cada uma das câmaras em cada uma das *frames*. Cada ensaio de cada par de participantes ficou armazenado num ficheiro distinto. Para obter a localização dos marcadores em cada uma das *frames* é necessário efetuar a sua reconstrução. Este processo consiste na sobreposição dos dados obtidos por cada uma das câmaras e em cada uma das *frames* com o objetivo de obter a posição 3D de cada um dos

marcadores. Para realizar esta operação basta aceder ao painel de ferramentas do *Vicon Nexus* e seleccionar a operação “*Core Processing*” (ver Figura 8).

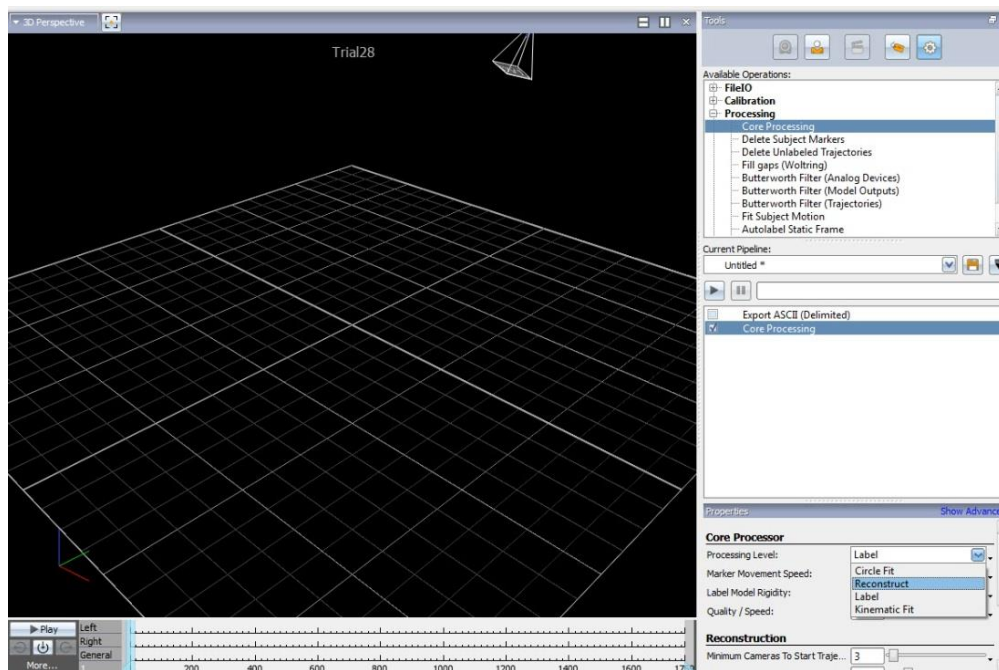


Figura 8: Seleção do processo de reconstrução. Antes da reconstrução os marcadores não são visíveis. Após a reconstrução os marcadores ficam visíveis.

Nesta fase foi detetado um problema na gravação nos ensaios que tinham como destino final o Ponto *B*. Este problema foi devido ao facto do cenário estar deslocado para o lado direito. Consequentemente, a área do lado direito do cenário é consideravelmente menor do que a do lado esquerdo (ver Figura 2), obrigando os participantes a irem muito próximos das câmaras, não sendo visualizados por estas. No entanto os ensaios em que os participantes tinham como destino final o ponto *A* ficaram adequadamente registados.

O passo seguinte foi a identificação dos marcadores. Para tal, foram criados na estrutura de dados do *Vicon Nexus*, 2 identificadores representativos do *Leader* e do *Follower* (3 marcadores cada um) e mais um para a barra (2 marcadores). Este processo foi efetuado no *Vicon Nexus* através do painel de ferramentas, mais especificamente, através da funcionalidade de gestão de sujeitos (ver secção 2.1.2). Para criar os identificadores foi necessário definir a quantidade e os nomes dos marcadores que os definem. Após a criação dos identificadores, cada marcador foi etiquetado com a respetiva designação. Este processo revelou-se bastante moroso já que requeria uma identificação inicial dos marcadores, sendo posteriormente feita uma verificação *frame a frame* nas zonas de limite de captura. Se algum marcador deixasse de ser visível, quando

esse voltasse a ser detetado pelo sistema tinha que ser novamente identificado. O resultado final pode ser visto na Figura 9.

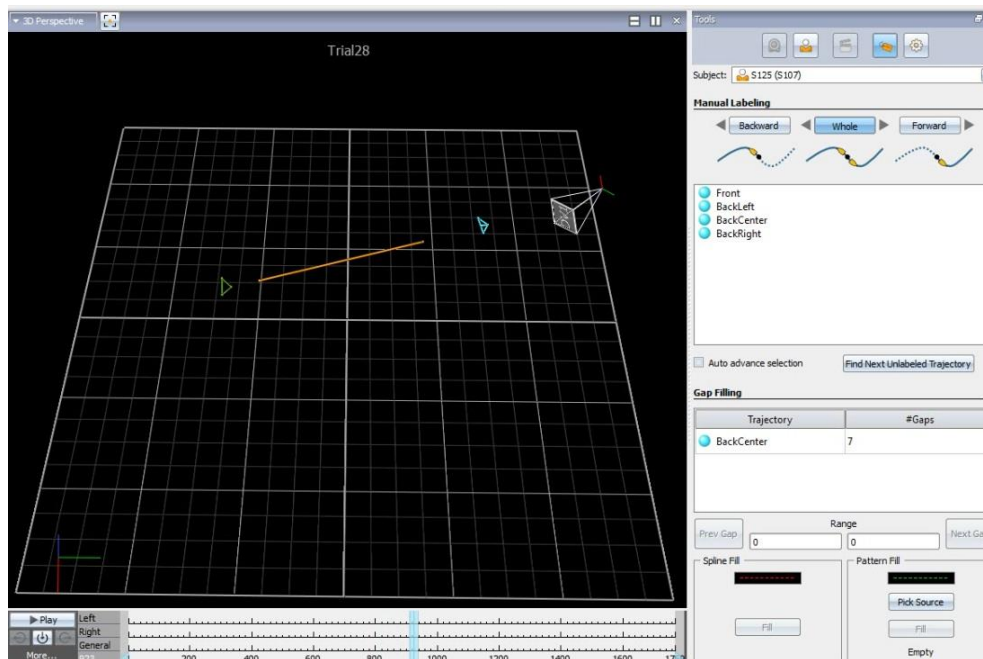


Figura 9: Resultado final do processo de identificação manual.

Com os marcadores devidamente identificados foi feita a sua exportação para ficheiros *CSV* (*comma-separated values*), utilizando o processo *Export ASCII (Delimited)* (ver Figura 8) Como cada ensaio se encontrava armazenado num ficheiro diferente, o resultado final da aquisição foram 240 ficheiros (24 ensaios de cada um dos 10 pares que realizaram a experiência).

## 2.3 Análise dos Dados

### 2.3.1 Região de análise

Para analisar os dados foi usado um *software* de cálculo matricial, o *MATLAB*. Os dados foram importados dos ficheiros *CSV* provenientes da exportação do *Vicon Nexus*. De salientar que, inicialmente foi realizada uma análise individual, ou seja, foram criadas *scripts* separadas para cada um dos pares. Por esta razão, o processo de análise vai ser explicado para um par já que foi similar para os restantes.

Após a importação dos dados, cada ensaio ficou armazenado numa *Time Series Collection* que, como o próprio nome indica, é uma coleção de séries temporais cada uma relativa a um marcador, ou seja, uma coleção de 8 séries temporais por par de participantes, visto que foram usados 8 marcadores (3 marcadores em cada participante e dois marcadores usados para definir a barra). Cada série temporal é constituída por um vetor temporal e uma matriz que armazena as coordenadas 3D, posição  $(x, y, z)$ , do respetivo marcador (no entanto apenas foi feita uma análise 2D pois no contexto da experiência a coordenada  $z$  não acrescenta informação relevante). É importante salientar que todas as séries temporais de uma coleção têm o mesmo número de amostras. No entanto, o número de amostras varia de coleção para coleção. Tal deve-se ao facto de o tempo de execução de cada ensaio ser diferente. Os ensaios realizados em menos tempo, foram realizados com uma velocidade maior o que resulta numa menor quantidade de amostras. O contrário acontece aos ensaios realizados num maior tempo de execução. Devido a este facto vem também subjacente o problema de, o mesmo par de participantes, num dado ensaio a um dado instante de tempo estar numa zona do percurso e noutro ensaio, no mesmo instante de tempo estar numa zona de percurso diferente. Para contornar este problema, antes de ser feito o cálculo de qualquer variável capaz de caracterizar as trajetórias dos participantes, foi definida uma região de análise e feita a segmentação da mesma.

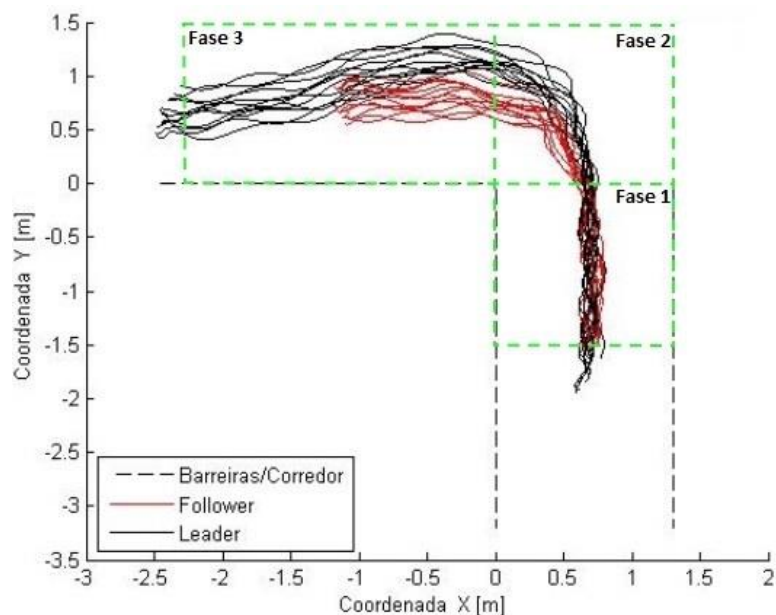


Figura 10: Trajetórias descritas por um participante *Leader* e o respetivo participante *Follower*, transportando o objeto de 1.5 m de comprimento (condição A). As regiões contornadas a verde indicam as regiões de análise.

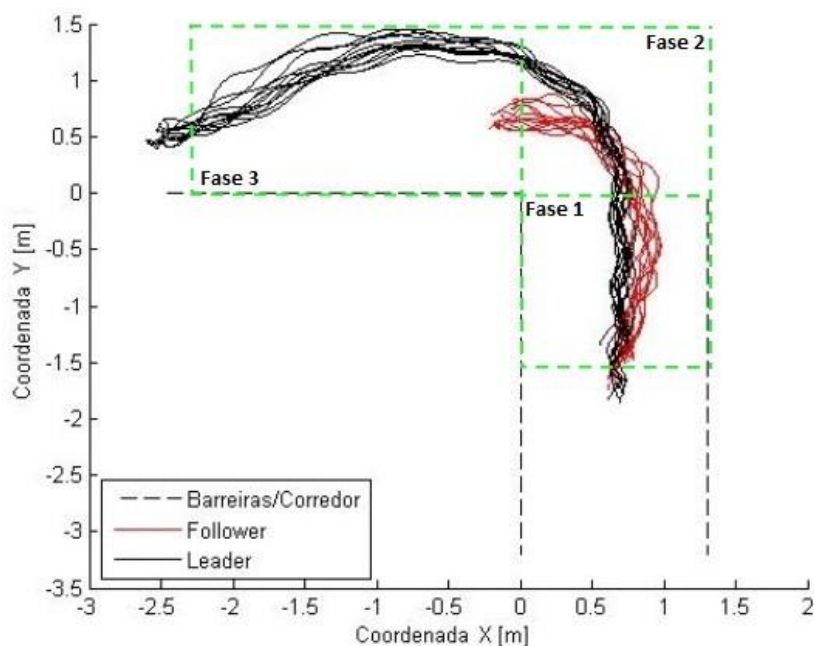


Figura 11: Trajetórias descritas por um participante *Leader* e o respectivo participante *Follower*, transportando o objeto de 2.5 m de comprimento (condição *B*). As regiões contornadas a verde indicam as regiões de análise.

Após uma visualização de todos os ensaios de todos os pares de participantes, a região de análise foi definida como a representada na Figura 10 e Figura 11. Apesar do destino final se situar aproximadamente 2.5 m da curvatura de 90 graus, é notório que em alguns ensaios o(s) participante(s) *Leader(s)* não parava(m) exatamente em cima da marca, parando um pouco antes. Por esta razão, a janela de análise foi definida até 2.3 m após a curvatura, sendo esta a medida máxima para a qual existe informação, em todos os ensaios, da trajetória efetuada pelos *Leaders*. Em relação ao(s) *Follower(s)*, a região de análise aplicada é a mesma. No entanto, para a condição *A* só existe informação da sua trajetória até 1.0 m após a curvatura e, para a condição *B*, apenas até ao fim da curvatura. O início da janela de análise teve origem a meio do corredor, ou seja, 1.5 m antes da curvatura. Apesar de haver informação alguns centímetros antes, como se trata de zonas de limite de captura, optou-se por uma medida mais segura de modo a reduzir o número de *frames* em que existe falta de informação acerca da posição de um qualquer marcador (quando isso acontece, ou seja, quando não há informação acerca da posição de um marcador, os dados tomam o valor de *NaN*). Note que os participantes já se encontravam em movimento quando são visualizados pela primeira vez pelo sistema de captura.

Após a definição da região de interesse, foi necessário definir uma base comum para a análise das trajetórias. Para isso foram definidas linhas de segmentação, regularmente espaçadas ao

longo do percurso. A análise foi feita comparando as variáveis nos instantes em que as trajetórias cruzavam as linhas de segmentação. A finalidade desta segmentação foi eliminar o problema de os ensaios terem tempos de execução diferentes, sendo deste modo garantido que são analisadas zonas do percurso/caminho iguais.

A segmentação de cada trajetória foi feita em três fases, de acordo com 3 secções da região de análise, como ilustrado na Figura 10 e Figura 11:

- Fase 1: A segmentação foi feita através de retas horizontais, com início em valores de  $y = -1.5$  m, com resolução de 0.01 m, até valores de  $y = 0$  m. Para cada um dos ensaios foi criado um vetor que armazena os instantes de tempo em que cada uma das retas de segmentação é cruzada pelos *Leaders*. Para calcular esse instante de tempo é feita a verificação de quando é que o valor de coordenada  $y$  é igual ou superior ao da reta horizontal em questão. Para melhor compreensão deste aspeto sugere-se a visualização da Figura 12.

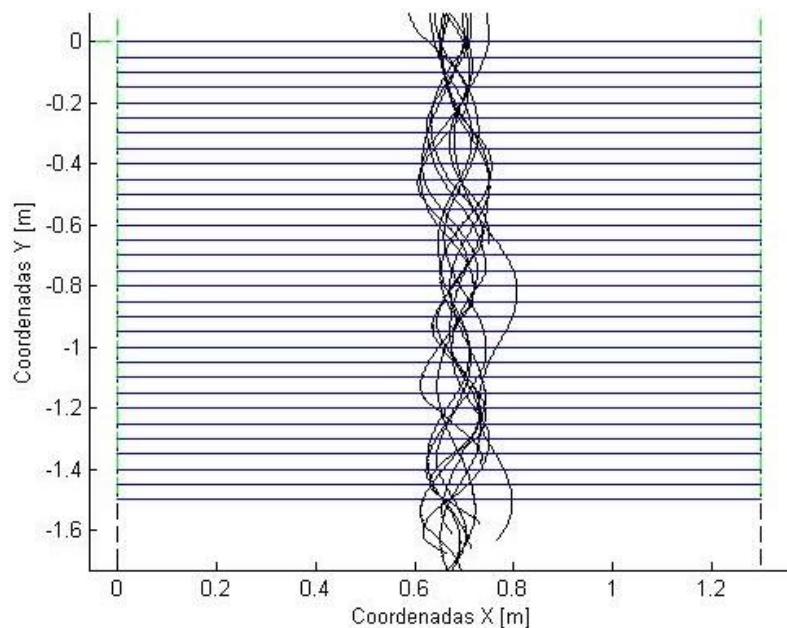


Figura 12: Representação das linhas de segmentação da região de interesse correspondente à Fase 1. Nota: a resolução das linhas de segmentação aqui ilustradas é de 0.05 m.

- Fase 2: A segunda fase é definida pela zona de curvatura do percurso. Aqui foi executada uma segmentação radial. Para tal, foi definida uma trajetória modelo representada por um quarto de circunferência com raio igual a metade da largura do corredor definido, i.e. 0.65 m. Este valor foi escolhido tendo em conta que os



participantes no início da tarefa foram colocados aproximadamente no centro do mesmo. Se o valor do raio escolhido para a curvatura modelo fosse muito menor, muita informação seria perdida. Por outro lado, se fosse muito maior, o arco correspondente a 1 cm de circunferência podia exceder a frequência de amostragem usada na experiência. Com a definição da trajetória modelo, foi calculado o ângulo para o qual corresponde um arco de 0.01 m de comprimento, sendo este aproximadamente  $1/65 \text{ rad}$ . As retas foram então definidas a partir origem do referencial e espaçadas de  $1/65 \text{ rad}$  (ver Figura 13). Para calcular o instante de tempo em que a reta é ultrapassada é comparado o ângulo entre o vetor definido pela reta de segmentação e o vetor definido pelo origem do referencial e pela localização do participante. O instante determinado coincide com a primeira amostra em que este angulo é negativo.

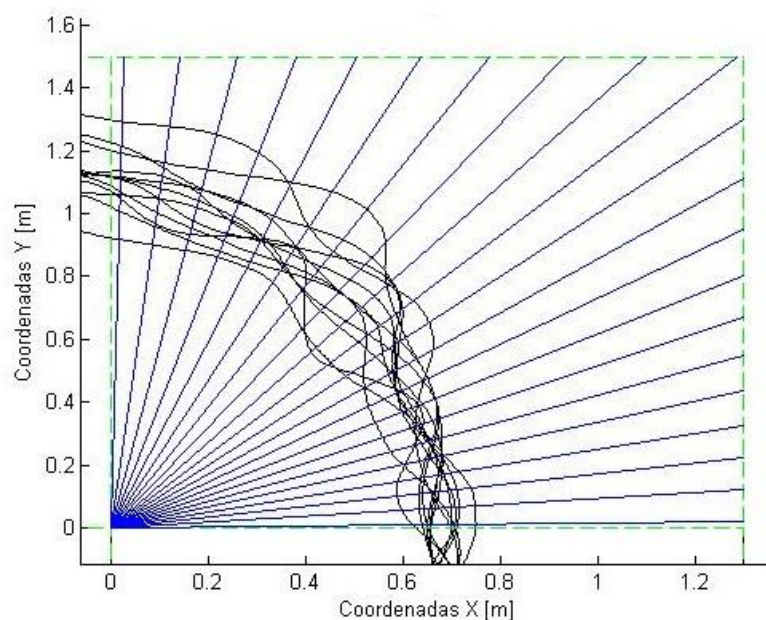


Figura 13: Representação das linhas de segmentação da região de interesse correspondente à Fase 2. Nota: a resolução das linhas de segmentação aqui ilustradas é de  $5/65 \text{ rad}$ .

- Fase 3: A terceira fase é após a curvatura de 90 graus. A discretização nesta fase é similar à realizada na fase 1, sendo a única diferença, o uso de retas verticais em vez de retas horizontais. Assim, são definidas retas verticais com início em valores de  $x = 0 \text{ m}$  até valores de  $x = 2.3 \text{ m}$  com resolução de 0.01 m (ver Figura 14). Para calcular o instante de tempo em que cada uma dessas retas é cruzada é feita uma verificação do valor da coordenada  $x$ , resultando um vetor com os instantes de tempo em que essas retas são cruzadas pelas trajetórias definidas pelo *Leader*.

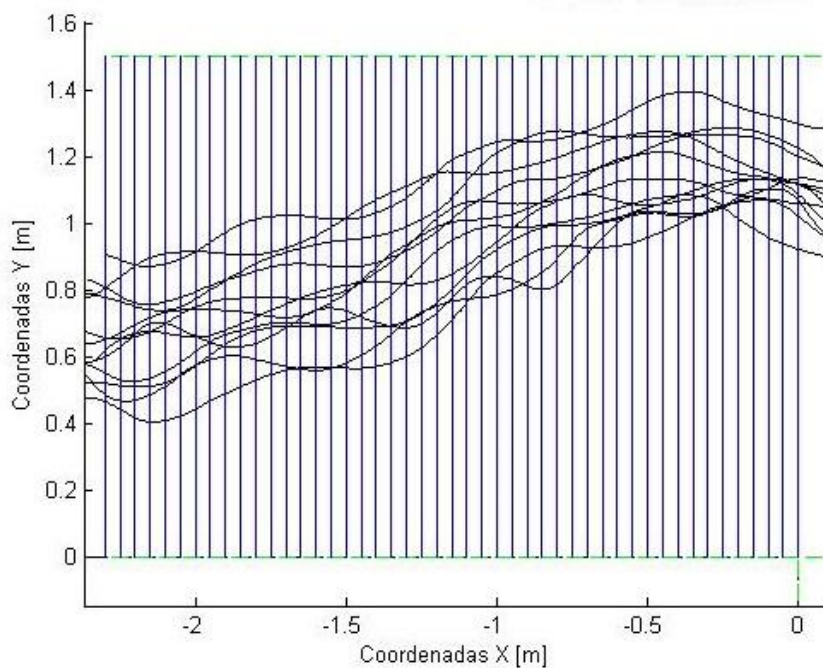


Figura 14: Representação das linhas de segmentação da região de interesse correspondente à Fase 3. Nota: a resolução das linhas de segmentação aqui ilustradas é 0.05 m.

Após o cálculo dos tempos das 3 fases para os 12 ensaios (dos 24 ensaios totais apenas os ensaios referentes ao lado esquerdo é que tiveram uma boa captura), os vetores são agrupados originando uma matriz com o número de linhas igual ao número de retas de segmentação e com o número de colunas igual ao número de ensaios. Este processo foi realizado para ambos os objetos a transportar, resultando então 2 matrizes com tamanhos iguais.

Após determinados os instantes segmentação foram efetuados cálculos obtenção de variáveis que permitissem descrever a estratégia usada pelos participantes. A análise efetuada foi individual, ou seja, os percursos descritos pelos participantes *Leaders* são analisados separadamente dos percursos descritos pelos participantes *Followers*.

### 2.3.2 Distância mantida pelos participantes em relação à parede esquerda

O primeiro cálculo efetuado para descrever as trajetórias descritas pelos participantes foi o da distância mantida em relação à parede esquerda, tornando possível perceber se os participantes mantêm uma distância constante ao longo de percurso ou se se afastam ou aproximam. Tomando como exemplo as trajetórias dos *Leaders* quando estes transportavam o objeto de

1.5 m, a distância a que o participante Leader se encontra da parede do lado esquerdo, representada por  $d_{pe}$ , é dada por:

$$d_{pe} = \sqrt{(x_L - x_p)^2 + (y_L - y_p)^2} \quad (1)$$

em que  $(x_L, y_L)$  representa as coordenadas dos participantes *Leaders* e  $(x_p, y_p)$  representa as coordenadas do ponto da parede mais próximo do Leader. Este ponto é diferente mediante a fase em que os participantes se encontram:

- Fase 1: o ponto da parede mais próximo dos *Leaders* é o ponto com o mesmo valor de ordenada, i.e.  $y_L = y_p$ . Assim, segundo o referencial definido (ver Figura 2). Assim, com  $x_p = 0$  e  $y_L = y_p$ , então  $d_{pe} = x_L$ .
- Fase 2: a parede é representada por um único ponto, o canto da parede, que coincide com a origem do referencial definido (ver Figura 2). Assim, com  $(x_p, y_p) = (0,0)$ , então  $d_{pe} = \sqrt{(x_L)^2 + (y_L)^2}$ .
- Fase 3: o ponto da parede mais próximo dos *Leaders* é o ponto com o mesmo valor de abcissa, i.e.  $x_L = x_p$ . Assim, segundo o referencial definido (ver Figura 2), com  $y_p = 0$  e  $x_L = x_p$ , então  $d_{pe} = y_L$ .

Assim, representando (2) em função das fases de análise:

$$d_{pe} = \begin{cases} x_L & , \quad \text{se Fase 1} \\ \sqrt{(x_L)^2 + (y_L)^2} & , \quad \text{se Fase 2} \\ y_L & , \quad \text{se Fase 3} \end{cases} \quad (2)$$

### 2.3.3 Velocidade dos participantes

Continuando com o exemplo do participante *Leader*, a sua velocidade instantânea,  $v_L$ , é dada por:

$$v_L = \frac{\sqrt{(x_{L1} - x_{L2})^2 + (y_{L1} - y_{L2})^2}}{\Delta t} \quad (3)$$

Correspondendo  $(x_{L1}, y_{L1})$  e  $(x_{L2}, y_{L2})$  a pontos consecutivos de interceção da trajetória do participante com as retas de discretização. Com o cálculo desta variável é possível analisar o perfil de velocidade.

#### 2.3.4 Orientação da cabeça dos participantes

A orientação da cabeça dos participantes foi obtida através da orientação da figura geométrica definida pelos marcadores dos respetivos chapéus (Figura 6). Seja  $P_{h,b,m} = (x_{h,b,m}, y_{h,b,m})$  o ponto médio entre os marcadores *Back Left* e *Back Right*, dado por:

$$P_{h,b,m} = \left( \frac{x_{h,b,r} + x_{h,b,l}}{2}, \frac{y_{h,b,r} + y_{h,b,l}}{2} \right) \quad (4)$$

onde os pares de coordenadas  $(x_{h,b,l}, y_{h,b,l})$  e  $(x_{h,b,r}, y_{h,b,r})$  representam as coordenadas dos marcadores traseiros do lado esquerdo e direito, respetivamente.

A orientação da cabeça dos participantes,  $O_h$ , é obtida através da orientação da linha virtual que passa por  $P_{h,b,m}$  e pelo correspondente marcador frontal de coordenadas  $(x_{h,f}, y_{h,f})$ , sendo dada por:

$$O_h = \text{atan}_2 \left( (x_{h,f} - x_{P_{h,b,m}}), (y_{h,f} - y_{P_{h,b,m}}) \right) \quad (5)$$

#### 2.3.5 Orientação do objeto

Sendo  $(x_{obj,f}, y_{obj,f})$  o par de coordenadas do marcador colocado no objeto situado mais próximo do *Leader* e  $(x_{obj,b}, y_{obj,b})$  o par de coordenadas do marcador colocado no objeto situado mais próximo do *Follower*, a orientação o objeto,  $O_{obj}$ , é dada por:

$$O_{obj} = \text{atan}_2 \left( (x_{obj,f} - x_{obj,b}), (y_{obj,f} - y_{obj,b}) \right) \quad (6)$$

### 2.3.6 Distância do objeto ao canto

Por último foi calculada distância do objeto ao canto onde existe um maior potencial de colisão. Este problema resume-se a encontrar a menor distância do segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$  definido pelos pontos  $P_{obj,L}$  e  $P_{obj,H}$  e o canto  $W$ . A Figura 16 ilustra o problema em questão:

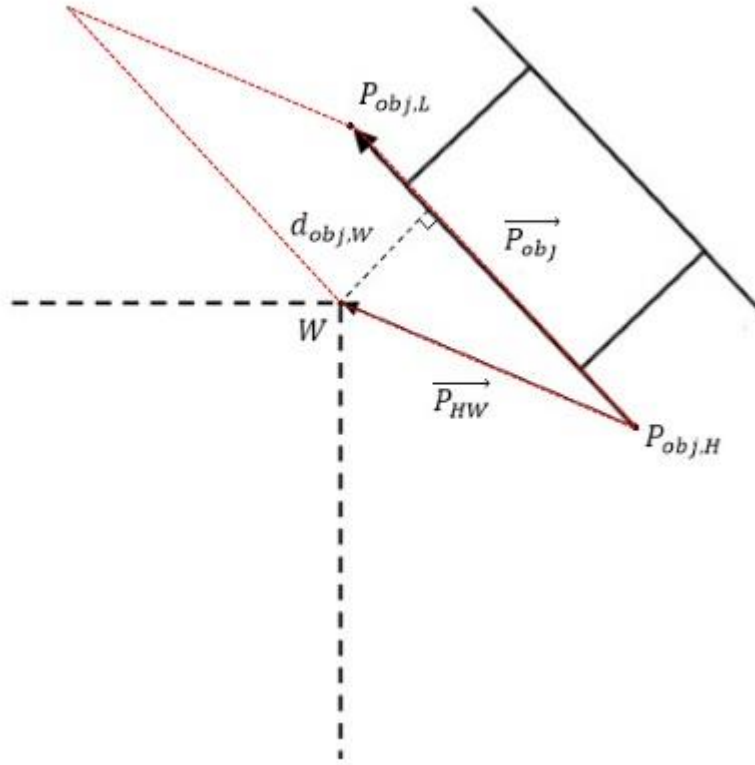


Figura 15: Distância do segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$  ao ponto  $W$ . A vermelho encontra-se representado o paralelogramo definido pelos vetores  $\overrightarrow{P_{obj}}$  e  $\overrightarrow{P_{HW}}$ .

sendo  $\overrightarrow{P_{obj}}$  o vetor definido pelos pontos  $P_{obj,L} = (x_0, y_0)$  e  $P_{obj,H} = (x_1, y_1)$ ,  $d_{obj,W}$  representa a distância do ponto  $W = (x, y)$  ao segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$ . Para resolver este problema é necessário relembrar que o módulo do produto vetorial  $|\overrightarrow{P_{obj}} \times \overrightarrow{P_{HW}}|$  entre o vetor  $\overrightarrow{P_{HW}}$ , definido pelos pontos  $W$  e  $P_{obj,H}$ , e  $\overrightarrow{P_{obj}}$ , é igual à área  $A$  do paralelogramo por eles definido. Por sua vez,  $A = base \times altura$  sendo a  $base = |\overrightarrow{P_{obj}}|$  e  $altura = d_{obj,w}$  [32]. Posto isto, obtém-se a seguinte expressão

$$|\overrightarrow{P_{obj}} \times \overrightarrow{P_{HW}}| = |\overrightarrow{P_{obj}}| \times d_{obj,w} \quad (7)$$

$$d_{obj,w} = \frac{|\overrightarrow{P_{obj}} \times \overrightarrow{P_{HW}}|}{|\overrightarrow{P_{obj}}|} \quad (8)$$

Com:

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{P_{obj}} \times \overrightarrow{P_{HW}}| &= (x_1 - x_0, y_1 - y_0, 0) \times (x - x_0, y - y_0, 0) \\ &= |(y_0 - y_1)x + (x_1 - x_0)y + (x_0y_1 - x_1y_0)| \end{aligned} \quad (9)$$

Entao:

$$d_{obj,w} = \frac{|(y_0 - y_1)x + (x_1 - x_0)y + (x_0y_1 - x_1y_0)|}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}} \quad (10)$$

No entanto, como  $\overline{R_{obj}}$  é um segmento de reta (com início em  $P_{obj,H}$  e fim em  $P_{obj,L}$ ), a reta perpendicular a  $\overline{R_{obj}}$  a passar no ponto  $W$ ,  $S_{obj}$ , pode nem sempre intersestar o segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$  pois pode encontrar-se fora do seu comprimento. Posto isto é necessário fazer algumas verificações, pois a menor distância pode ser apenas a distância a uma das extremidades (Figura 16 e Figura 17).

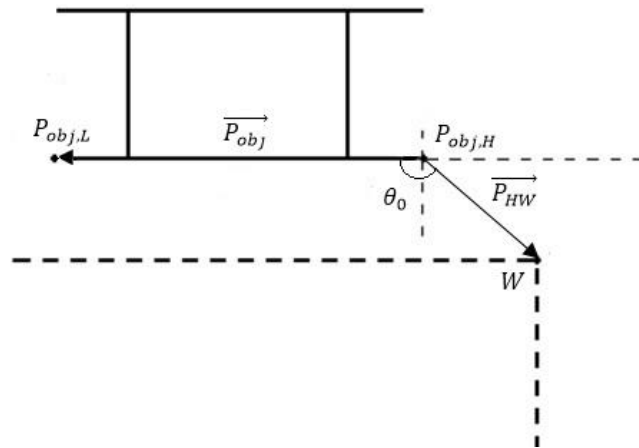


Figura 16: Verificação se o ponto  $W$  se encontra ou não fora do comprimento da reta. Verificação relativa ao ponto  $P_{obj,H}$  [32].

Com o objetivo de verificar se o ponto se encontra fora do comprimento do segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$  (Figura 16) é efetuado o produto escalar entre o vetor  $\overrightarrow{P_{obj}}$  e o vetor  $\overrightarrow{P_{HW}}$ . Se o produto escalar entre estes vetores for negativo significa que o ângulo entre os dois vetores é superior a 90 graus, i.e. a perpendicular  $S_{obj}$  não intersesta o segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$ . Deste modo, a distância entre o ponto  $W$  e o segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$  é uma simples distância entre o ponto  $W$  e  $P_{obj,H}$ :

$$d_{obj,w} = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} \quad (11)$$

Na caso do produto escalar entre vetor  $\overrightarrow{P_{obj}}$  e o vetor  $\overrightarrow{P_{HW}}$  ser positivo, ainda existe a hipótese do ponto se encontrar fora do comprimento do segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$  (ver Figura 17).

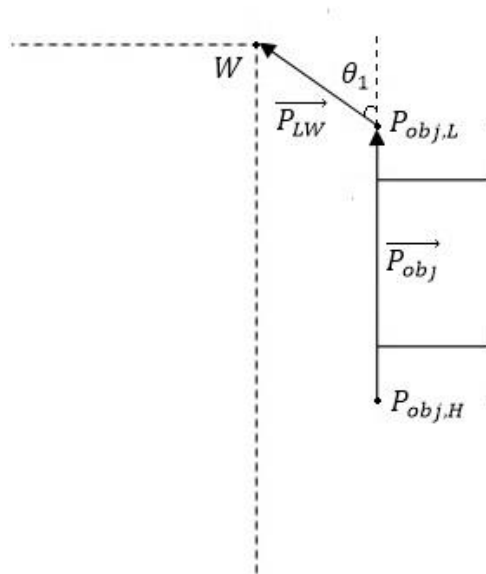


Figura 17: Verificação se o ponto  $W$  se encontra ou não fora do comprimento da reta. Verificação relativa ao ponto  $P_{obj,L}$  [32].

Para efetuar esta verificação é feito o produto escalar entre o vetor  $\overrightarrow{P_{obj}}$  e o vetor  $\overrightarrow{P_{LW}}$ , se o resultado for positivo então o ponto encontra-se definitivamente fora do comprimento do segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$ , fazendo com que a distância entre o ponto  $W$  e o segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$  seja igual à distância entre o ponto  $P_{obj,L}$  e o ponto  $W$ :

$$d_{obj,w} = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (12)$$

Se o resultado for negativo então podemos afirmar que o ponto se encontra dentro do comprimento do segmento de reta  $\overline{R_{obj}}$  e a distância ao ponto  $W$  pode ser calculada usando a fórmula (10).

Por fim é importante salientar que as coordenadas dos pontos  $P_{obj,L}$  e  $P_{obj,H}$  tiveram de ser calculadas pois não são conhecidas. No entanto é sabido que estes pontos se encontram a distâncias fixas do ponto capturado pelo sistema. Estes foram então calculados através de uma simples rotação e translação de eixos coordenados.

### 2.3.7 Cálculos estatísticos

A análise estatística dos dados deve ter em conta a natureza temporalmente contínua destes. Neste caso, a análise deve ser feita comparando as variáveis ponto a ponto, nos pontos de intersecção com as retas de segmentação. Para perceber que tipo de análise estatística poderia ou não ser realizado foram efetuados testes de normalidade. Para tal, o primeiro passo foi a construção de gráficos *qqplot* que podem ser vistos na Figura 18.

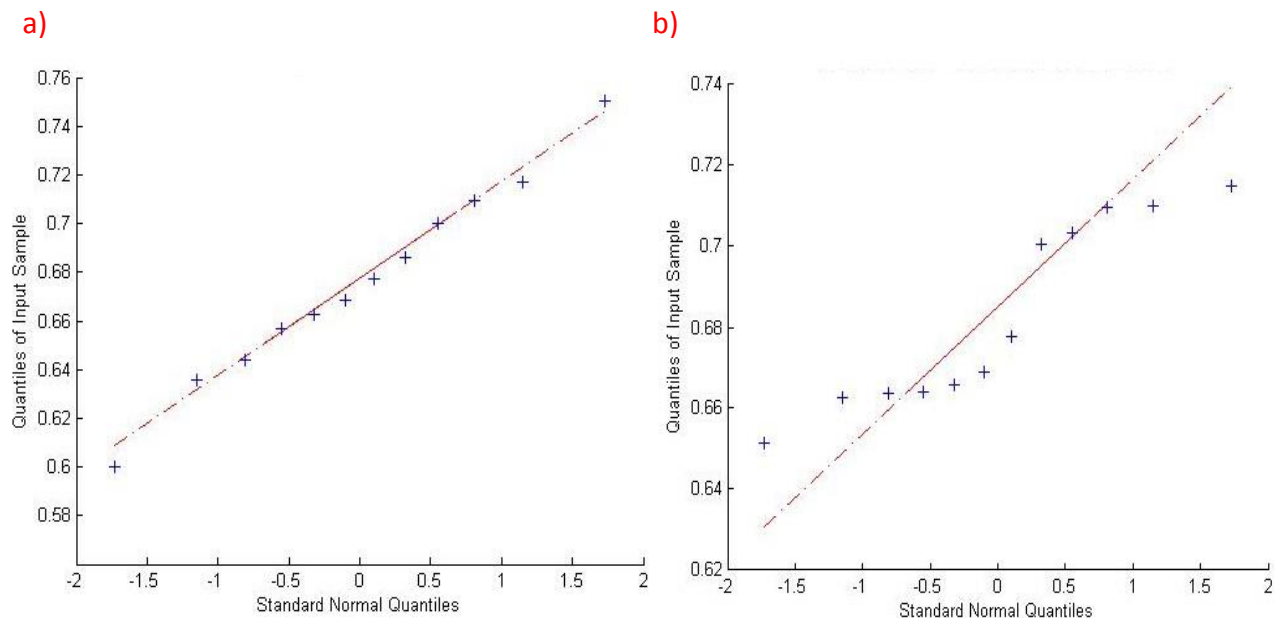


Figura 18: Análise da normalidade através de gráficos *qqplot*. a) - Representa uma zona do percurso em que a normalidade pode ser assumida (reta de segmentação situada na fase 1). b) - Representa uma zona do percurso onde a normalidade não pode ser assumida (reta de segmentação situada na fase 2).



Existem vários métodos de análise da normalidade dos dados, dos quais se destacam a análise gráfica e a análise através de testes de hipóteses (e.g. teste de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov). Como estes testes não permitem assumir a normalidade, permitem apenas eliminar pressupostos que a contrariam, a análise gráfica é considerada mais fiável. Posto isto, foram desenhados gráficos *qqplot* para cada uma das retas de segmentação. Este tipo de gráficos comparam os quantis dos dados e permite verificar se estes pertencem ou não a uma distribuição normal. Se tal acontecer, os pontos do gráfico deverão aproximar-se a uma reta linear. Na Figura 18 alínea a) é possível visualizar que existem zonas do percurso em que a normalidade pode ser assumida. No entanto a alínea b) mostra que existem outras zonas em que esta não pode ser assumida. Consequentemente optou-se por não assumir a distribuição dos dados como sendo normal. Assim, optou-se por analisar a mediana e o intervalo interquartil ao invés da média e desvio padrão.

Para comparação numérica dos resultados foi necessário a aplicação de testes estatísticos. Estes podem dividir-se em dois tipos: testes paramétricos e testes não paramétricos. Os testes paramétricos exigem que as amostras tenham uma distribuição normal se tiverem uma dimensão inferior a 30. Como para dimensões superiores a 30 amostras, os dados se aproximam de uma distribuição normal, este teste pode também ser aplicado. Os testes não paramétricos podem ser aplicados a amostras com dimensões inferiores a 30. Normalmente são usados quando uma amostra não obedece a uma distribuição normal ou quando apesar de a amostra ter uma dimensão superior a 30 (a partir da qual se aproxima de uma distribuição normal) se opta por análises mais conservadoras. A desvantagem destes testes é de serem menos robustos que os testes paramétricos podendo ser encontradas diferenças usando teste paramétricos que não são evidentes quando usados testes não paramétricos. Como a normalidade dos dados não foi assumida, foram usados testes não paramétricos.

Dentro dos testes não paramétricos existem muitas opções, sendo o teste escolhido conforme o objetivo pretendido. O objetivo do uso destes testes foi a comparação entre ambas as condições experimentais. Por exemplo pretendia-se verificar se existem ou não diferenças nas trajetórias descritas pelos participantes entre as condições *A* e *B* e para tal foi usado o teste *U* de *Mann-Whitney*. Como qualquer teste estatístico, este realiza a verificação da hipótese nula, i.e. se as duas amostras pertencerem à mesma distribuição. Se isto for verdade não existe diferença entre as duas amostras, pois são provenientes de uma distribuição com o mesmo valor mediano. O resultado deste teste é um valor *p*. Segundo o método padrão, se  $p > 0.05$  a hipótese nula é

aceite, caso contrário, se  $p \leq 0.05$  a hipótese nula é rejeitada. Como o teste é aplicado aos vários pontos do percurso, o resultado final é um gráfico com valores de  $p$ , evidenciando se existe uma diferença estatística entre as trajetórias ao longo de todo o percurso ou apenas em parte dele. De salientar que este teste já se encontra implementado no *MATLAB*, bastando invocar a função *ranksum* ( $x, y$ ), onde  $x$  e  $y$  representam os vetores a serem comparados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados do estudo efetuado às trajetórias dos participantes e dos objetos transportados. Inicialmente, foi feita uma análise exploratória por pares individuais dos quais se apresentam alguns exemplos (a escolha dos pares usados como exemplo foi aleatória). Após a análise individual são apresentados os resultados da análise englobando a totalidade da amostra para demonstrar que o comportamento foi comum a todos os pares. Os resultados referentes ao objeto transportado são usados como explicação do movimento do(s) participante(s). As Figura 19 e Figura 20 mostram as trajetórias descritas pelos participantes na condição A e condição B, respetivamente.

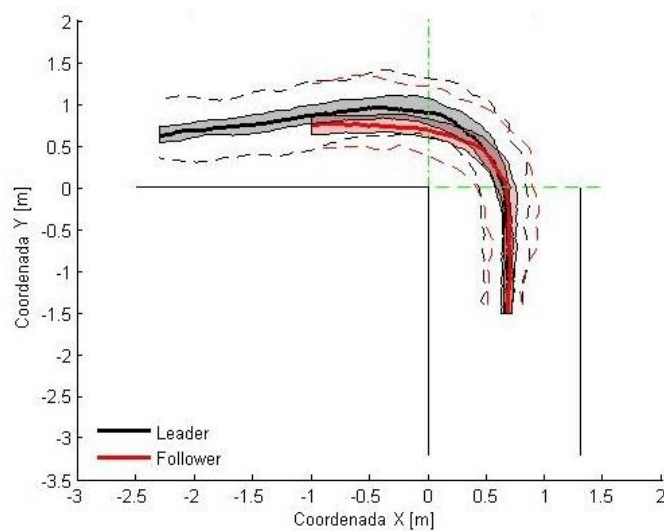


Figura 19: Representação das trajetórias descritas por todos os participantes na condição A.

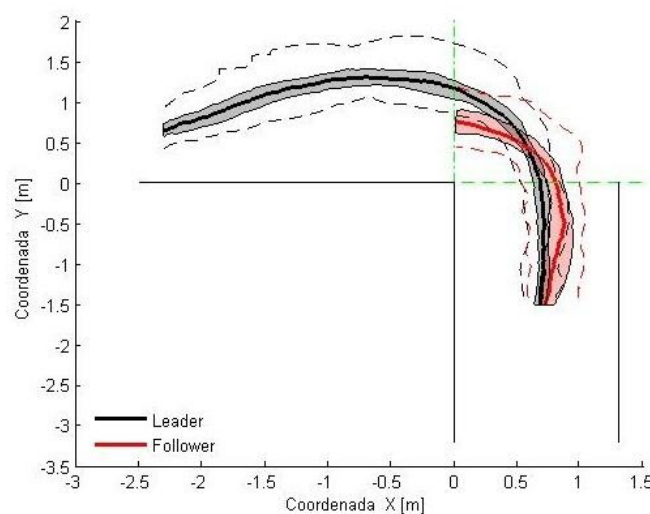


Figura 20: Representação das trajetórias descritas por todos os participantes na condição B.

Foi possível observar a adoção de uma estratégia por parte do *Leader* que consistiu num afastamento em relação à parede do lado esquerdo, i.e. alargando a sua trajetória de modo a facilitar a tarefa ao *Follower*. Em relação ao *Follower*, foi possível perceber que este adequa a sua trajetória de modo a evitar colisões. Por último foi notório um efeito de aprendizagem por parte do *Leader* que tendeu a adotar trajetórias mais seguras e realizar a experiência mais devagar nos primeiros ensaios quando comparando com os últimos da condição A. Relativamente ao *Follower*, não foi observado o mesmo efeito de aprendizagem. No entanto, como se trata de uma tarefa conjunta, o aumento de velocidade dos participantes *Leader* refletiu-se também nos participantes *Follower*. De seguida é apresentada a análise referente a cada uma das variáveis calculadas que permitiu a obtenção destas conclusões.

### **3.1 Distância dos participantes à parede esquerda e do objeto ao canto.**

A primeira variável apresentada é a distância a que os participantes se encontravam da parede esquerda. Esta variável é a que melhor reflete a estratégia adotada pelos participantes pois é possível descrever a trajetória dos participantes em função desta distância. A distância do objeto ao canto é usada como explicação das trajetórias descritas pelos participantes *Follower*.

#### 3.1.1 Leader

Nas subsecções seguintes são apresentados os resultados referentes aos participantes *Leader* em ambas as condições.

##### 3.1.1.1 Condição A

Na Figura 21, onde pode ser visualizada a mediana e intervalos de variação da distância do participante *Leader* do par 7 à parede esquerda, é possível verificar que este caminhou pelo centro do corredor, alargando a trajetória após o início da curvatura ( $x = 1.5\text{ m}$ ). Esta tendência verificou-se na generalidade dos pares conforme pode ser observado na Figura 22, onde é mostrada a mediana e intervalos de variação da distância à parede esquerda de todos os participantes *Leader*. Deste modo é possível concluir que o *Leader* adequa a sua trajetória tendo em conta as possíveis dificuldades sentidas pelo participante *Follower*. Na Figura 22 é também notória uma dispersão significativa dos dados, a qual será analisada na subsecção seguinte.

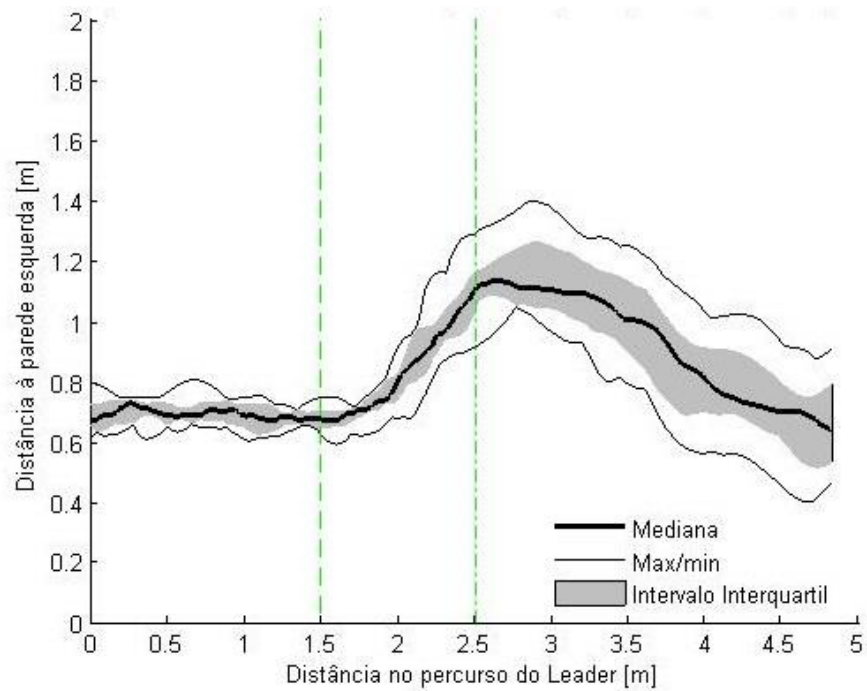


Figura 21: Distância do participante *Leader* do par 7 à parede esquerda, na condição A.

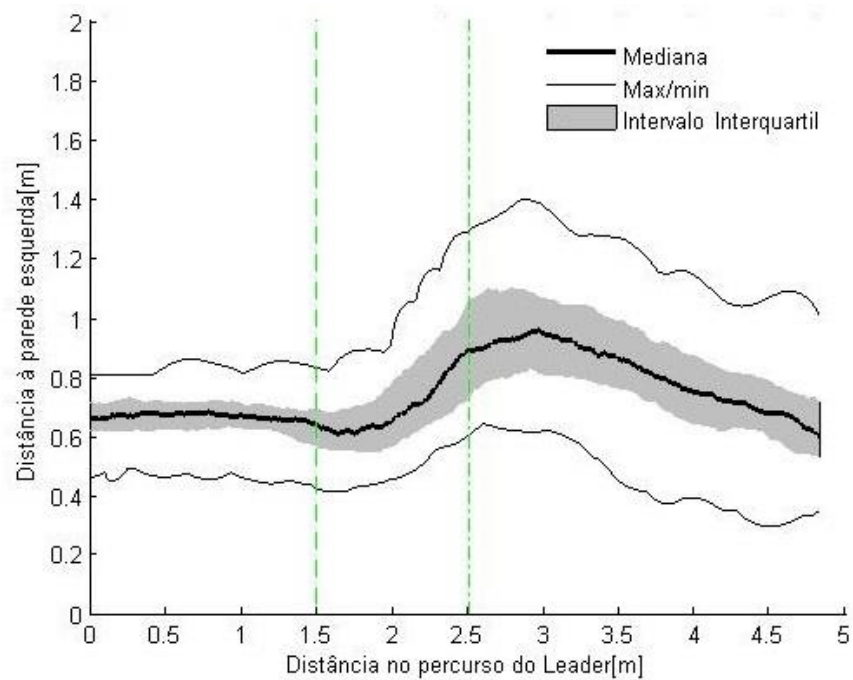


Figura 22: Distância dos participantes *Leader* à parede esquerda, na condição A.

#### Efeito de aprendizagem

Em relação à dispersão de dados encontrada na Figura 22, esta indica que a distância dos participantes à parede esquerda variou de ensaio para ensaio. Como tal, foi realizada uma análise gradual da distância dos participantes *Leader* à parede esquerda durante os 12 ensaios.

Esta análise gradual foi realizada individualmente já que a apresentação de 120 ensaios no mesmo gráfico tornaria o mesmo confuso. A Figura 23 mostra a distância do participante *Leader* do par 5 à parede esquerda durante os 12 ensaios. Cada ensaio está representado com uma cor diferente, de forma gradativa, do vermelho escuro (primeiro ensaio) ao amarelo muito claro (último ensaio).

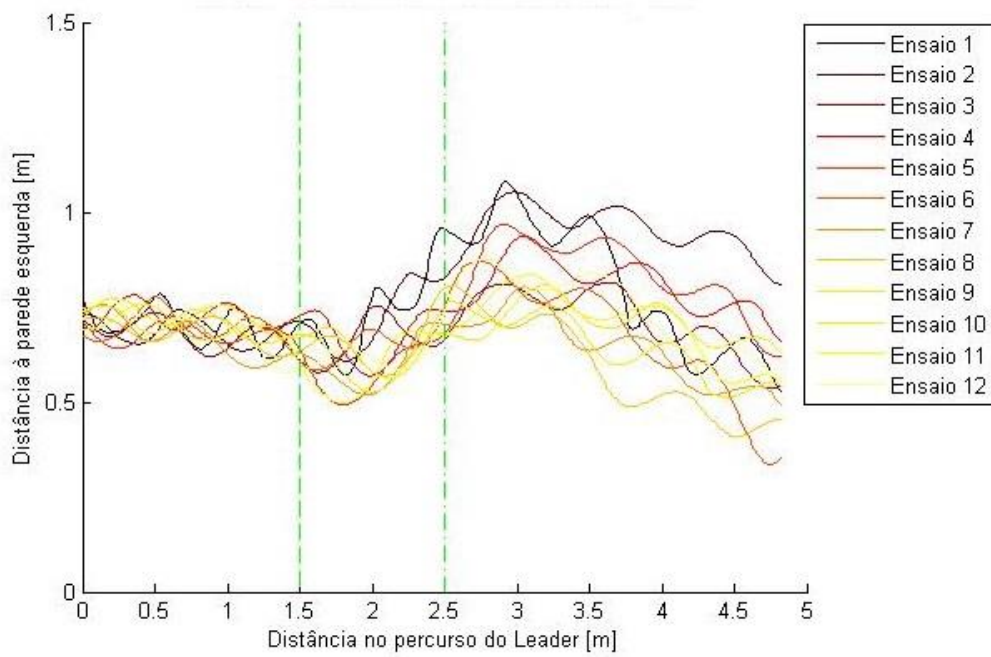


Figura 23: Distância do participante *Leader* do par 9 à parede esquerda, na condição A, nos 12 ensaios realizados.

Por observação da Figura 23 é perceptível que nos primeiros ensaios (principalmente nos 3 primeiros) o participante *Leader* manteve uma maior distância em relação à parede, a qual foi encurtando à medida que os ensaios iam sendo realizados. Este pormenor pode dever-se ao facto de o participante não se sentir à vontade nos primeiros ensaios visto não ter conhecimento prévio do cenário. No entanto, à medida que os ensaios se sucediam, os participantes iam adquirindo conhecimento sobre o ambiente, e optavam por trajetórias mais ambiciosas de modo a completarem o percurso mais rapidamente. Esta análise visual foi complementada com um teste estatístico. Para tal, foi comparada a mediana da distância à parede esquerda durante os 3 primeiros ensaios com a mediana da distância à parede esquerda durante os 3 últimos ensaios de todos os pares, na condição A (ver Figura 24). Para esta comparação usou-se o teste *U* de *Mann-Whitney* apresentado na secção 2.3.7. A mesma não foi realizada para pares individuais porque, como se pode observar na Figura 23, apenas os 3 primeiros ensaios se destacam,

constituindo uma amostra demasiado pequena para o teste *U* de *Mann-Whitney* (o qual requer no mínimo 5 amostras).

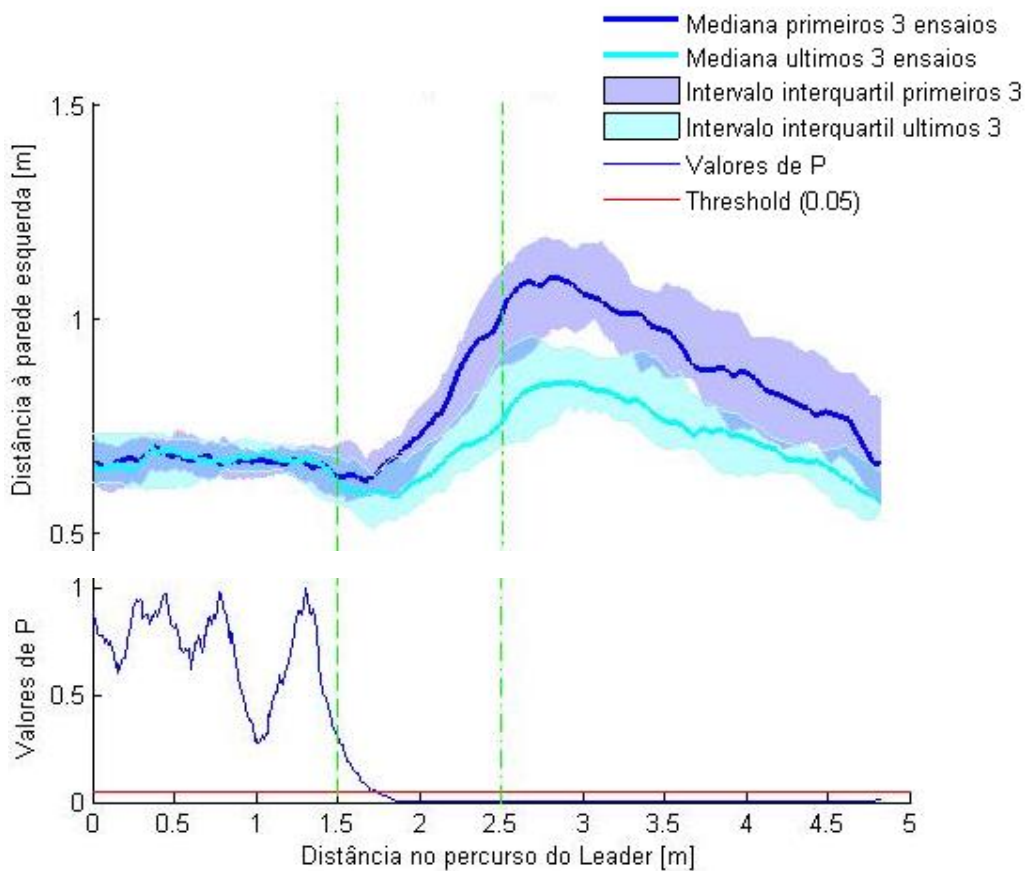


Figura 24: Mediana e intervalos de variação das distâncias dos participantes *Leader* à parede esquerda, nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios da condição *A*, bem como o respetivo teste *U* de *Mann-Whitney*.

Os resultados do teste efetuado mostram que, estatisticamente, dos primeiros 3 ensaios para os últimos 3, existe uma diferença significativa na distância dos participantes *Leader* à parede esquerda. No gráfico pode ver-se que a diferença entre os 3 primeiros e os três últimos começa a ser significativa na zona da curvatura. Pode então ser concluído que efetivamente existiu um efeito de aprendizagem por parte dos participantes *Leader*.

### 3.1.1.2 Condição B

Relativamente à condição de transporte B, através da observação da Figura 25, onde se mostra a mediana e os intervalos de variação da distância do participante *Leader* do par 8 à parede

esquerda na condição B, é possível visualizar que este caminha pelo centro do corredor alargando a sua trajetória logo após o início da curvatura ( $x = 1.5 m$ ). Nesta condição, o participante *Leader* alarga a sua trajetória com uma maior amplitude à encontrada na condição A. Esta tendência verificou-se na globalidade dos pares como pode ser visualizado na Figura 26, onde se pode ver a mediana e os intervalos de variação da distância à parede esquerda de toda a amostra de participantes *Leader*. Deste modo é possível concluir que existe a adoção da mesma estratégia, ou seja, os participantes *Leader* alargam a sua trajetória de modo a facilitar a tarefa ao participante *Follower*. Apesar de a estratégia ser a mesma, existe um aumento em amplitude da distância à parede esquerda durante o alargamento. Este resultado deve-se ao facto de haver a necessidade de ser dada uma maior margem de manobra ao *Follower* devido ao objeto transportado ser maior.

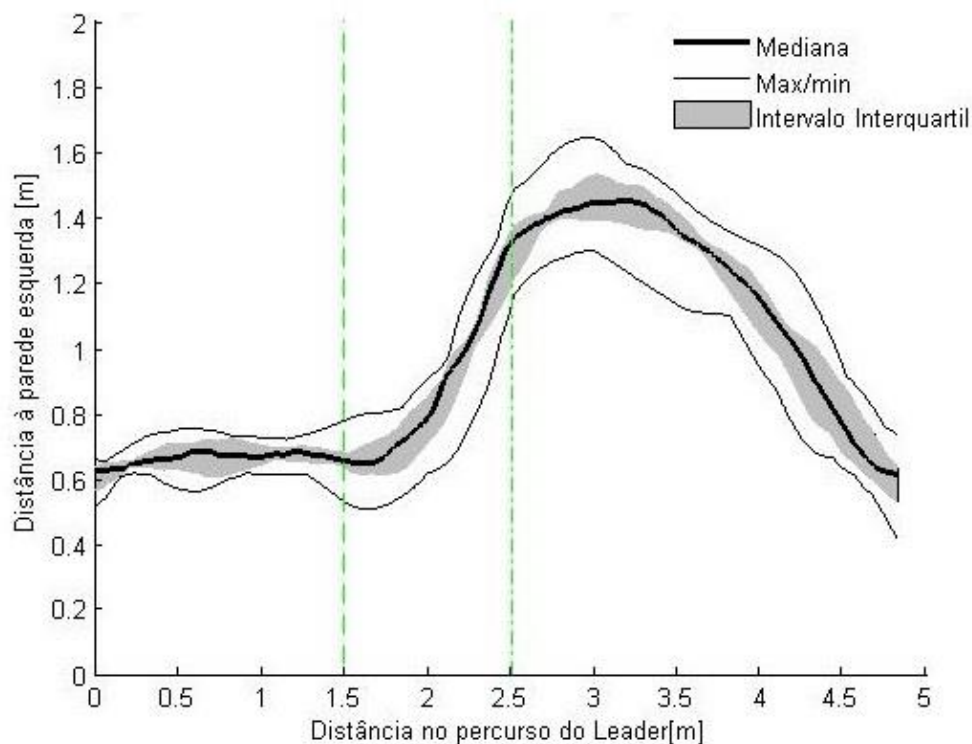


Figura 25: Distância do participante *Leader* do par 8 à parede esquerda, na condição B.



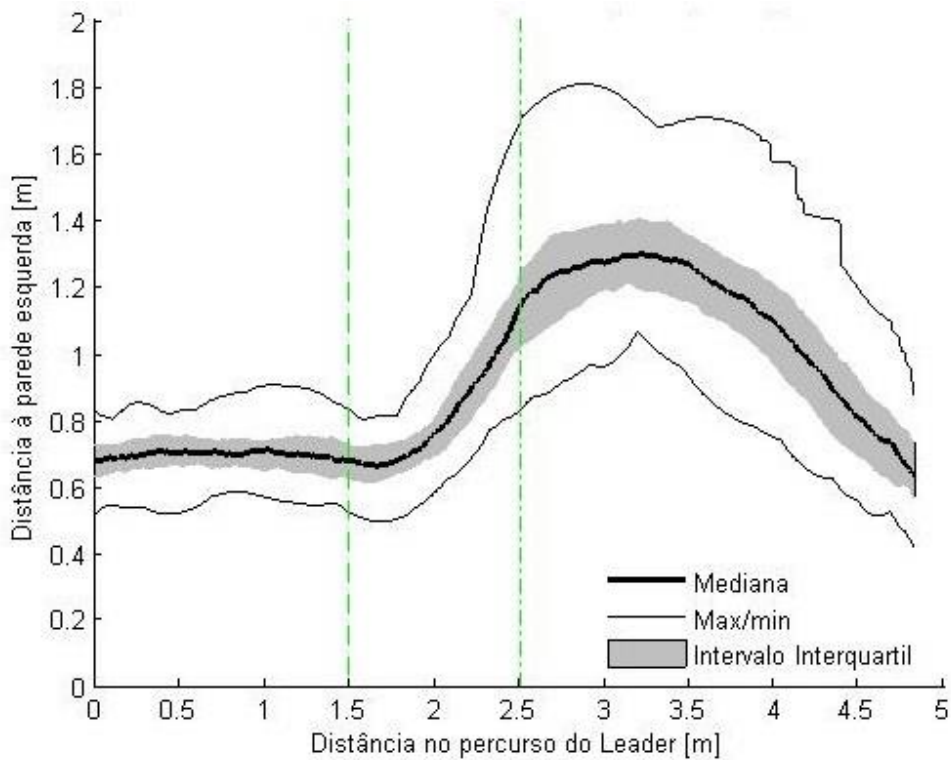


Figura 26: Distância dos participantes *Leaders* à parede esquerda, na condição B.

#### Efeito de aprendizagem

Com o objetivo de analisar a dispersão dos dados presente na Figura 26, foi efetuada uma análise gradual análoga à realizada para a condição A (ver Figura 27). Contrariamente aos resultados encontrados na condição A, não foram encontradas evidências que sugerissem a existência de um padrão entre a realização dos ensaios e a distância dos participantes *Leader* à parede esquerda durante os mesmos. Esta análise visual foi complementada com um teste estatístico. Para tal, foi comparada a distância dos participantes *Leader* à parede esquerda durante os 3 primeiros ensaios com a mesma distância durante os 3 últimos ensaios, na condição B. Para esta comparação usou-se o teste *U* de *Mann-Whitney*. Os resultados do teste demonstram a inexistência de uma diferença significativa, como pode ser visto na Figura 28. Este resultado pode ser explicado pelo facto de os participantes já conhecerem o cenário por terem realizado 24 ensaios (12 para a direita e 12 para a esquerda) na condição A no mesmo percurso. Uma futura experiência poderá passar por alternar a ordem em que os participantes realizam as condições A e B para verificar se o efeito de aprendizagem também se verifica na condição B caso esta seja a primeira a ser realizada.

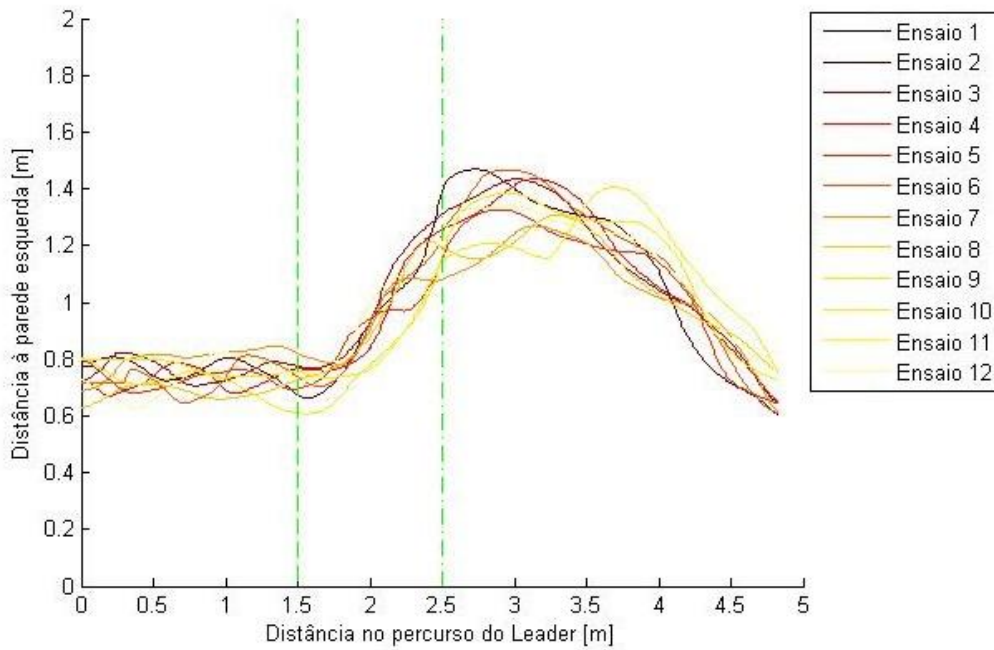


Figura 27: Distância do participante *Leader* do par 10 à parede esquerda, na condição B, nos 12 ensaios realizados.

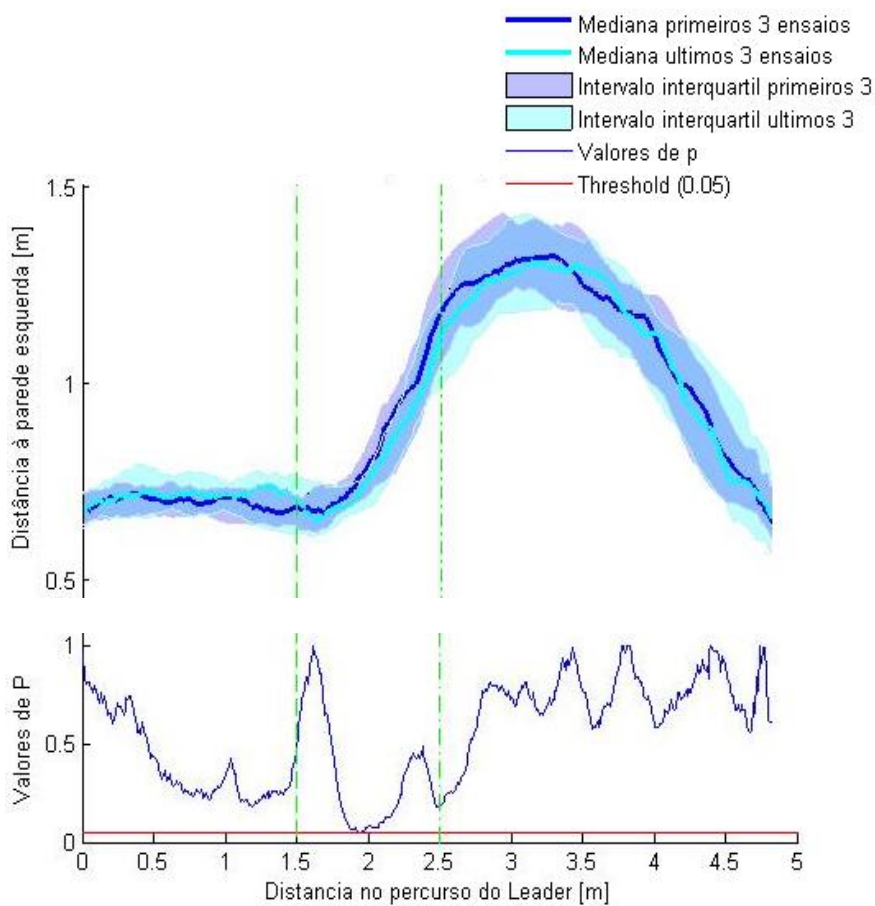


Figura 28: Mediana e intervalos de variação das distâncias dos participantes *Leader* à parede esquerda nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios, na condição B, bem com o respetivo teste U de *Mann-Whitney*.

### 3.1.1.3 Comparação entre condição A e condição B

Com o objetivo de perceber que impacto teve o tamanho do objeto na distância dos participantes *Leaders* à parede do lado esquerdo, foram comparadas as medianas e os intervalos de variação de ambas as condições, para a totalidade da amostra. Esta comparação encontra-se ilustrada na Figura 29, onde são visíveis as medianas e intervalos de variação da distância dos participantes *Leader* à parede em ambas as condições. Para verificar se existe ou não uma diferença entre as condições foi usado o teste U de *Mann-Whitney* cujos resultados podem ser visualizados na mesma figura.

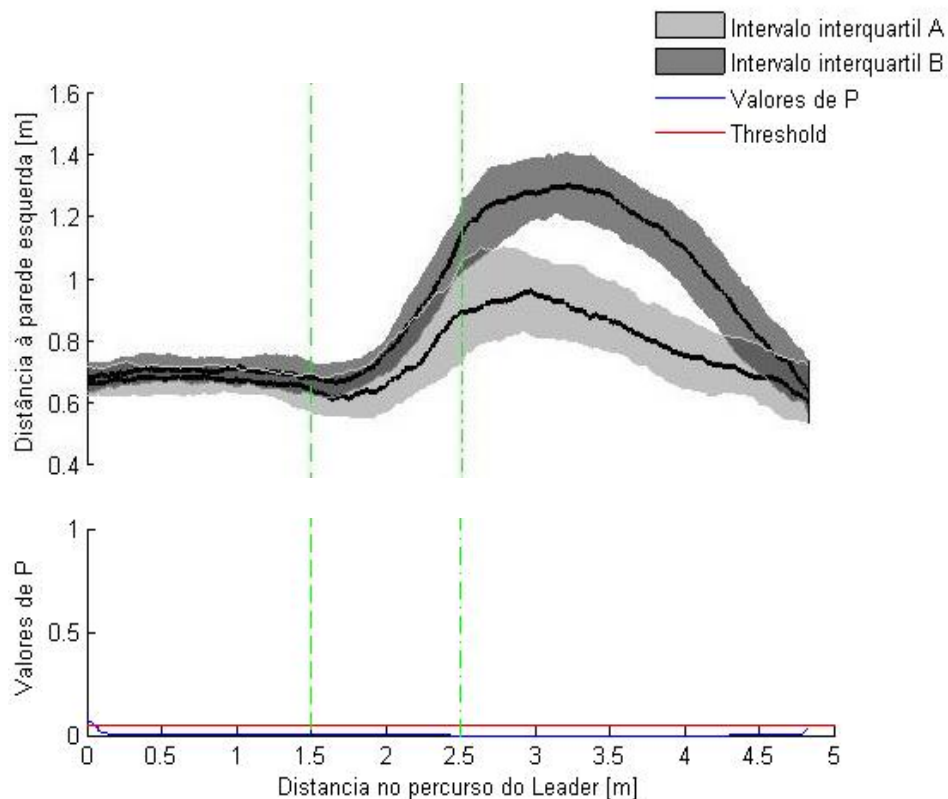


Figura 29: Mediana e intervalos de variação da distância dos participantes *Leader* à parede esquerda em ambas as condições, bem como resultados do teste U de *Mann-Whitney*.

Através da análise da Figura 29 é possível denotar uma diferença em amplitude na zona da curvatura  $2 \text{ m} \leq x \leq 4.5 \text{ m}$ , sendo a distância maior na condição B. O teste estatístico U de *Mann-Whitney* foi também realizado. No entanto revelou-se inconclusivo, já que mostrou a existência de uma diferença significativa ao longo de todo o percurso, o que pode ser explicado pelo tamanho (consideravelmente grande) da amostra. Em amostras de grandes dimensões, pequenas diferenças tornam-se significativas.

### 3.1.2 Follower.

Nesta secção as distâncias dos participantes *Follower* à parede são analisadas juntamente com as distâncias mínimas dos objetos transportados ao canto. Esta análise conjunta é feita de forma a clarificar de que forma o risco de colisão do objeto afeta o comportamento dos participantes *Follower*.

#### 3.1.2.1 Condição A

Com o objetivo de perceber as trajetórias descritas pelos participantes *Follower* é apresentada a Figura 30, onde é visível a mediana e intervalos de variação da distância do participante *Follower* do par 3 à parede esquerda e a distância a que o objeto, transportado pelo mesmo par, se encontrava do canto.

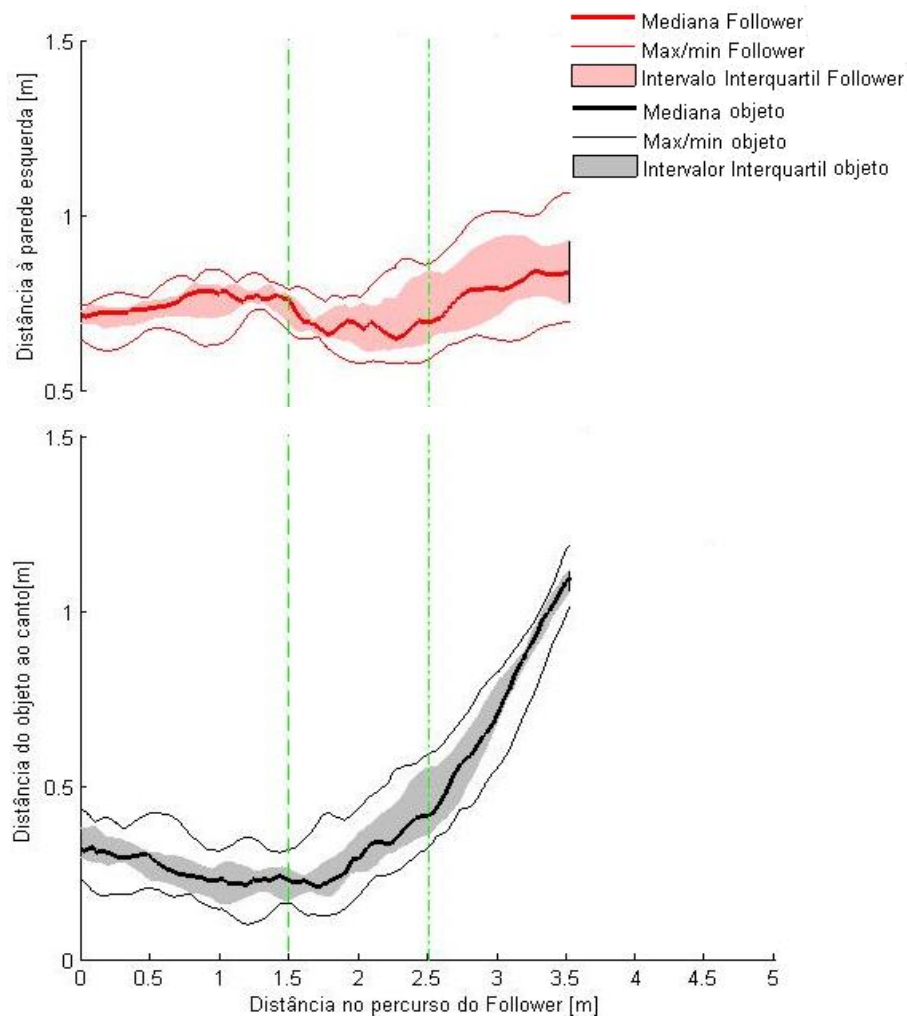


Figura 30: Mediana e intervalos de variação da distância do participante *Follower* do par 3 à parede esquerda e da distância do objeto ao canto transportado pelo mesmo par.

Nesta é visível que, apesar de ligeiras oscilações, a distância do *Follower* se mantém dentro do mesmo intervalo ao longo de todo o percurso. Tal pode ser compreendido quando se observa que a distância do objeto ao canto nunca se reduz substancialmente, ou seja, nunca é suficientemente pequena para fazer temer uma colisão, pelo que não requer medidas corretivas pelo *Follower*. Este comportamento foi verificado na globalidade dos pares, como é possível visualizar na Figura 31, que mostra a mediana e os intervalos de variação da distância mantida pela totalidade da amostra de participantes *Follower* em relação à parede esquerda e a mediana e os intervalos de variação da distância a que os respectivos objetos se encontravam da parede, nos ensaios referentes à condição A.

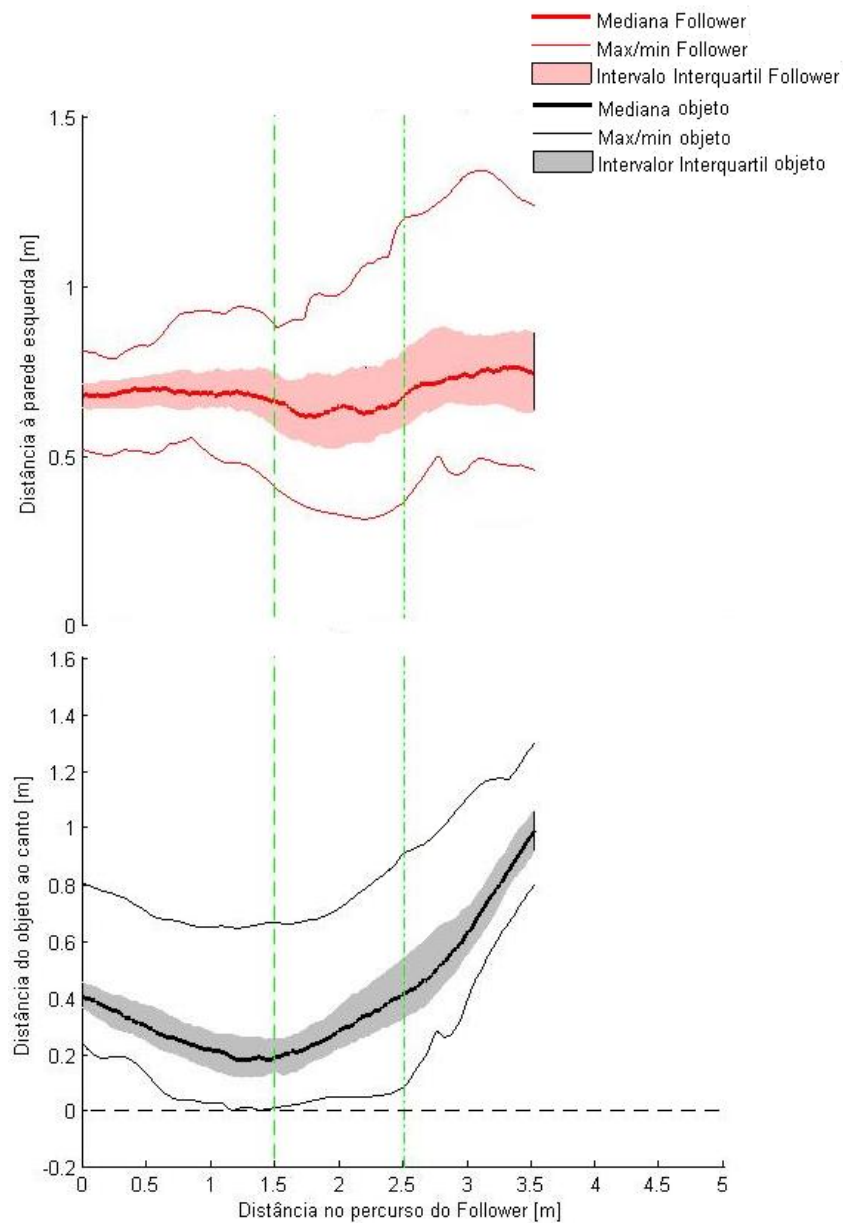


Figura 31: Mediana e intervalos de variação da distância de todos os participantes *Follower* à parede esquerda e da distância dos respectivos objetos transportados ao canto, na condição A.

## Efeito de Aprendizagem

Com a finalidade de analisar a dispersão dos dados encontrada na Figura 31, foi realizada uma análise análoga à efetuada para o participante *Leader*, ou seja, foi comparada a distância do participante *Follower* à parede esquerda durante os 3 primeiros ensaios com mesma distância durante os 3 últimos ensaios de todos os pares, na condição A. A Figura 32 mostra a mediana da distância dos participantes *Follower* à parede esquerda durante os 3 primeiros ensaios e a mediana da distância dos mesmos à parede esquerda durante 3 últimos ensaios. Por observação desta figura não são visíveis indícios que sugiram uma diferença entre os 3 primeiros ensaios e os 3 últimos. Esta análise foi complementada com a aplicação do teste estatístico U de *Mann-Whitney*, cujos resultados podem ser visualizados também Figura 32. Estes mostram que efetivamente não existe nenhuma diferença significativa entre a distância mantida pelos participantes *Follower* em relação à parede esquerda nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios. Pode ser então concluído que não existem vestígios que demonstrem um efeito de aprendizagem por parte dos participantes *Follower*. Este resultado pode ser explicado pela ausência de informação sobre o destino final dada aos participantes *Follower* que torna difícil que estes adequem a sua trajetória à medida que ganham conhecimento do cenário.

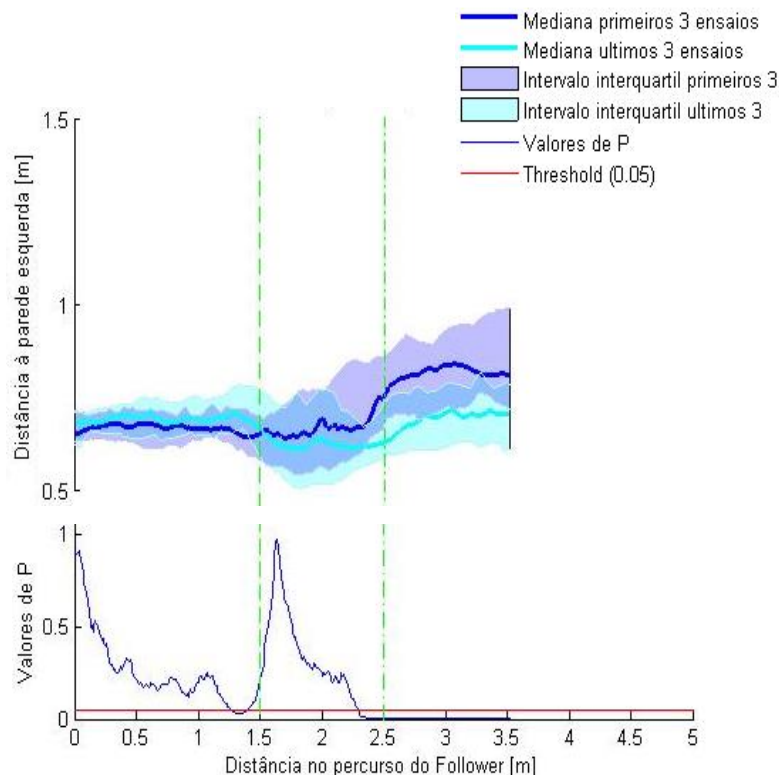


Figura 32: Comparação da distância mantida à parede esquerda pelos participantes *Follower* entre os 3 primeiros e os 3 últimos ensaios, na condição A, bem como o respetivo resultado do teste U de *Mann-Whitney*.

### 3.1.2.2 Condição B

Relativamente à condição B, na Figura 33 pode ser visualizada a mediana e intervalos de variação da distância do participante *Follower* do par 6 à parede esquerda (na condição B) e também a distância do objeto transportado pelo mesmo par ao canto dessa parede. Nela é visível um afastamento por parte do *Follower* antes da curvatura até aproximadamente a meio desta. Este afastamento é notório na mesma zona do percurso na qual o objeto se encontra na eminência de colidir com a esquina da parede.

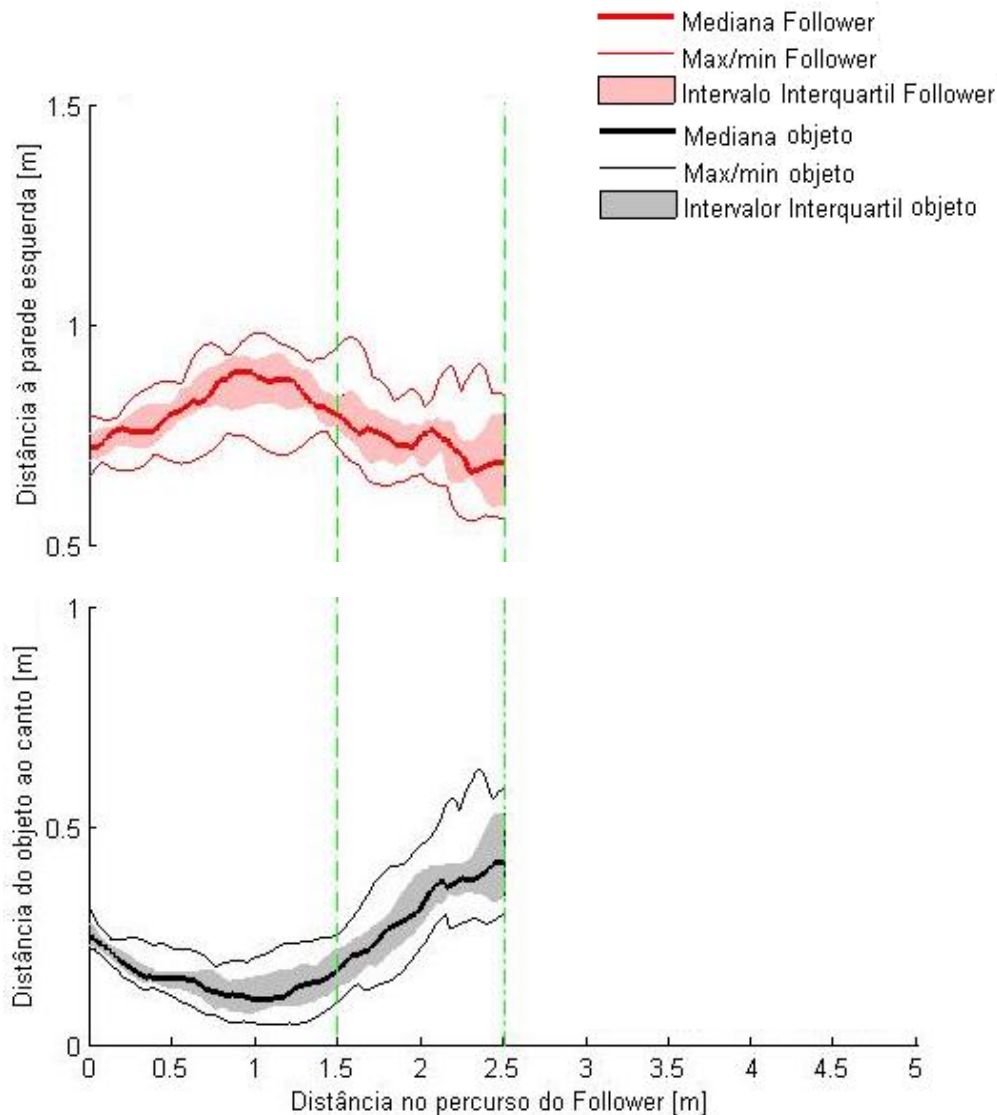


Figura 33: Distância do participante *Follower* do par 6 à parede esquerda, na condição B, e a respetiva distância do objeto transportado ao canto.

Este comportamento é verificado na globalidade dos participantes Followers conforme pode ser visualizado na Figura 34. Esta figura mostra a mediana e intervalos de variação da distância dos participantes *Followers* à parede do lado esquerdo e a distância do objeto ao canto dessa

parede. Note-se que a razão que justifica a não existência de informação na terceira região (fase 3) do percurso se deve ao facto de o *Follower* cruzar a linha que delimita o final da curvatura na mesma altura em que o líder chega à posição final.

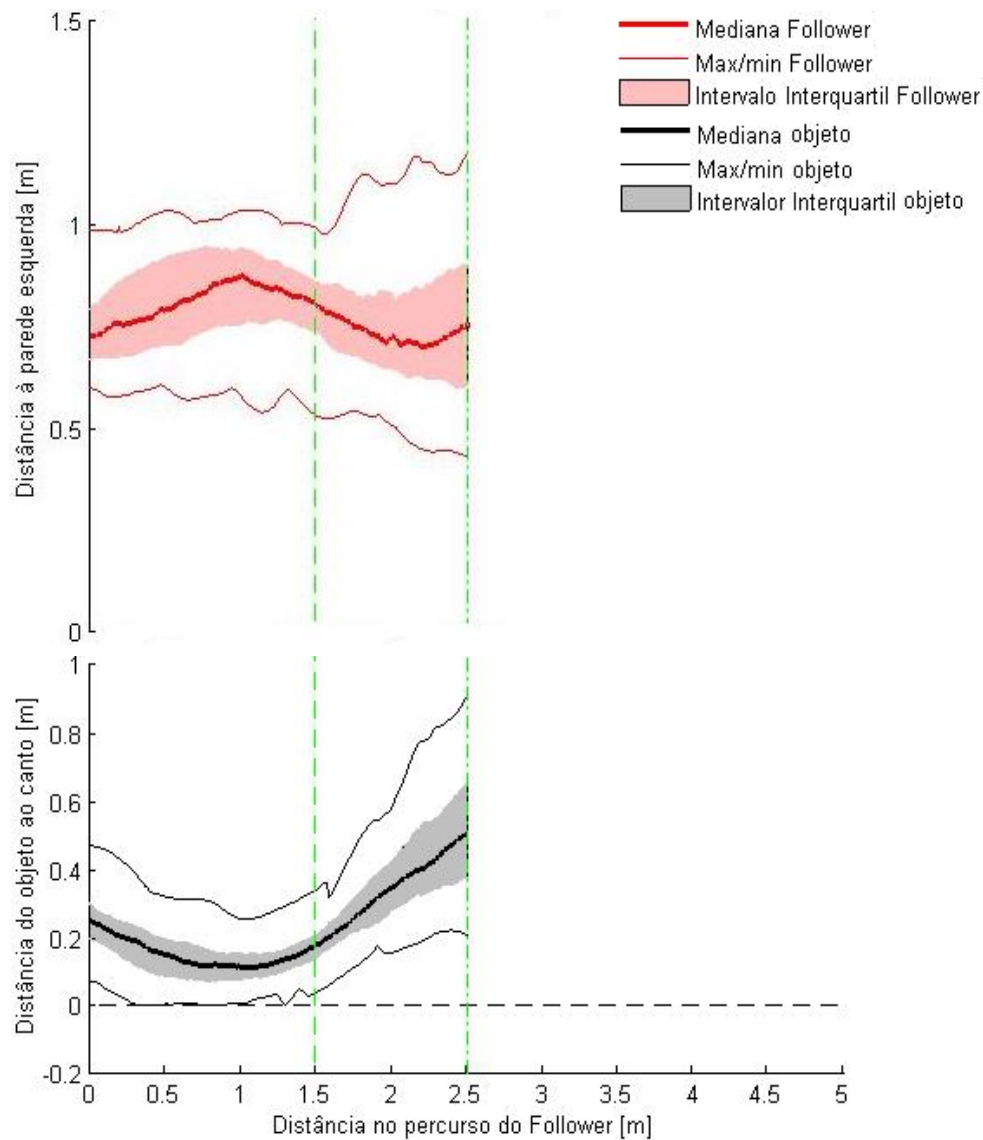


Figura 34: Distância dos participantes *Followers* à parede esquerda, na condição *B*, e a distância do objeto transportado ao canto.

Tendo em conta a análise da Figura 33 e Figura 34, é possível concluir que o participante *Follower* assume a responsabilidade de evitar que o objeto colida, adequando a sua trajetória tendo em conta a proximidade do objeto ao canto.



### Efeito de Aprendizagem

Analisando a dispersão dos dados presente na Figura 34, referente à distância dos participantes *Followers* à parede esquerda na condição B, foi realizada a comparação entre a mediana e intervalos de variação da distância à parede esquerda da totalidade da amostra de participantes *Followers* durante os 3 primeiros ensaios e a distância dos mesmos à parede esquerda nos últimos 3 ensaios da condição B (ver Figura 35). Nesta, é possível verificar que não existem indícios que mostrem um efeito de aprendizagem por parte dos participantes *Followers* na condição B. Esta análise visual foi complementada com o uso do teste estatístico U de *Mann-Whitney* cujos resultados podem ser observados na Figura 35.

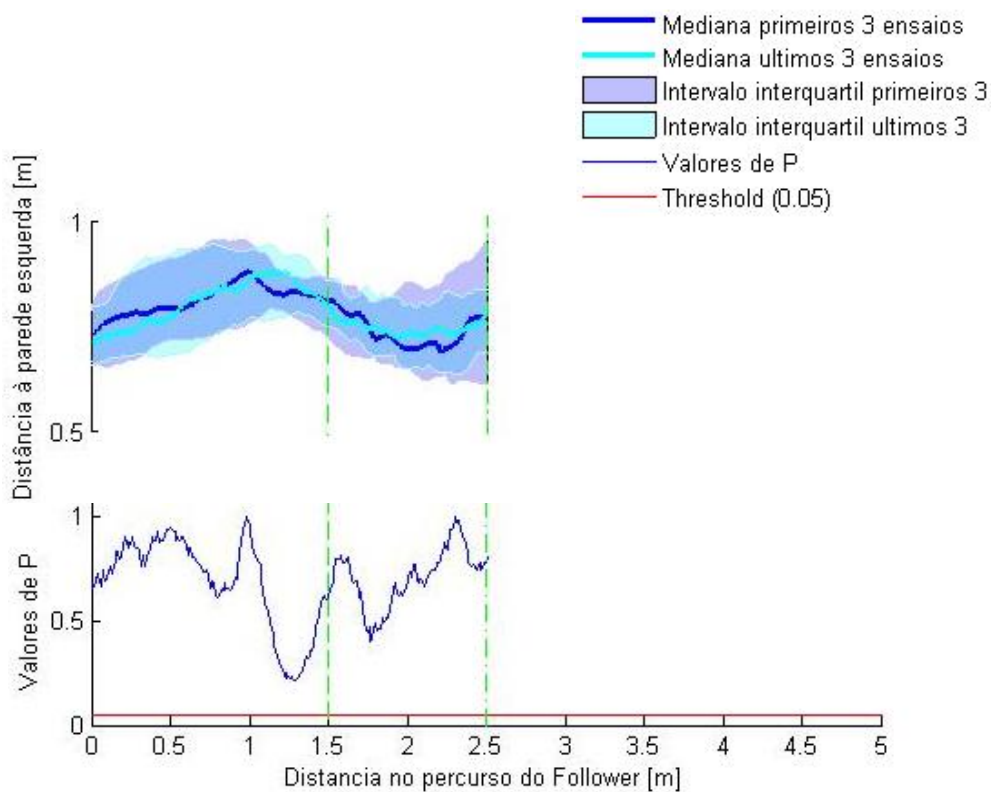


Figura 35: Mediana e intervalos de variação da distância dos participantes *Followers* à parede esquerda, nos 3 primeiros ensaios e nos 3 últimos, na condição B, bem como o resultado do correspondente teste U de *Mann-Whitney*.

Através da observação da Figura 35, conclui-se que, efetivamente, não existe uma diferença significativa entre a distância dos *Followers* à parede esquerda, nos primeiros 3 ensaios e nos últimos 3, referentes à condição B.

### 3.1.2.3 Comparação entre condição A e condição B

Com o objetivo de perceber qual o impacto que o comprimento do objeto a transportar tem na distância do *Follower* à parede, foram comparadas as medianas das distâncias em ambas as condições (ver Figura 36). Nesta é notória uma ligeira diferença em toda a região do percurso sendo mais acentuada no intervalo  $0.5 \text{ m} \leq x \leq 2 \text{ m}$ . Esta análise visual foi complementada com o uso de um teste estatístico, o teste U de *Mann-Whitney*, cujos resultados podem ser visualizados na Figura 36).

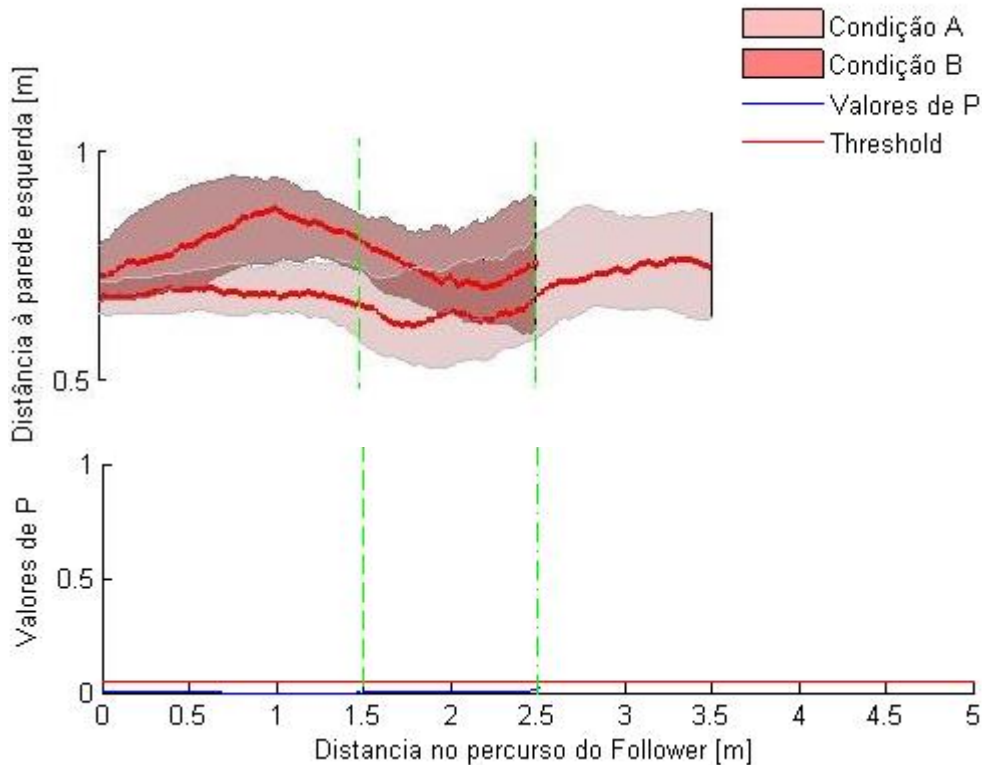


Figura 36: Mediana e intervalos de variação da distância dos participantes *Followers* à parede esquerda, em ambas as condições.

Como referido anteriormente, na condição A, os participantes *Follower* mantiveram uma distância aproximadamente constante da parede esquerda pois não havia perigo de colisão. No entanto, na condição B, estes já alargaram a sua trajetória quando o objeto se encontrava na iminência de colidir. Pela análise da Figura 36 é notória uma diferença significativa entre a trajetória descrita pelos participantes *Follower* na condição A e na condição B podendo então ser concluído que *Follower* tem a responsabilidade de evitar que o objeto colida com a parede, adequando a sua trajetória se necessário.

## 3.2 Velocidades dos participantes

Após a análise das trajetórias dos participantes através distância destes à parede esquerda, a velocidade com que estes realizaram a experiência é o próximo aspeto a ser apresentado.

### 3.2.1 Leader

Nas subsecções seguintes é analisado o perfil de velocidade com que os participantes *Leader* realizaram a experiência em ambas as condições.

#### 3.2.1.1 Condição A

Observando o exemplo da Figura 37 onde se encontrada ilustrado o perfil de velocidade do participante *Leader* do par 4 na condição A, é visível que a velocidade do participante se mantém aproximadamente constante durante toda a região de análise. Nesta figura é importante salientar dois aspetos:

- as acelerações (e as desacelerações) do participante, na fase inicial e final dos ensaios não são capturadas;
- as oscilação das velocidades deve-se à oscilação natural do movimento humano, tendo sido esta verificada na globalidade dos pares, conforme pode ser visto na Figura 38.

Nesta é visível que a velocidade dos participantes *Leader* permaneceu constante ao longo de todo percurso permitindo concluir isso mesmo.

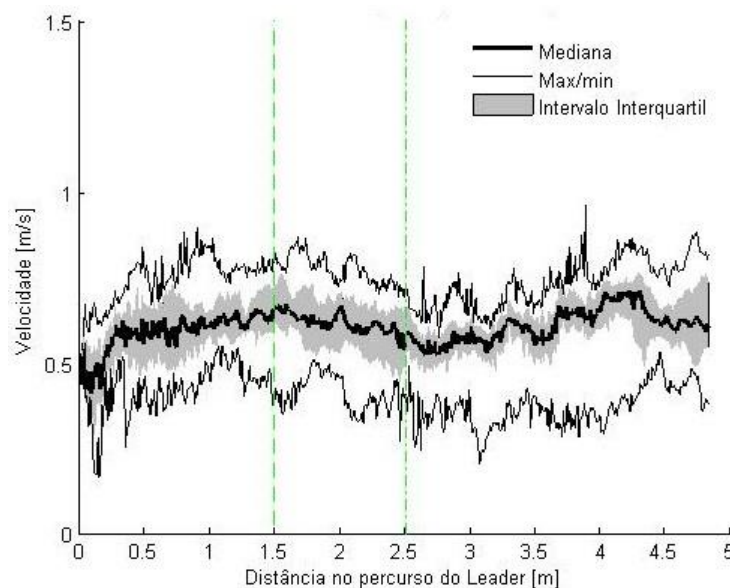


Figura 37: Perfil de velocidade do participante *Leader* do par 4, na condição A.

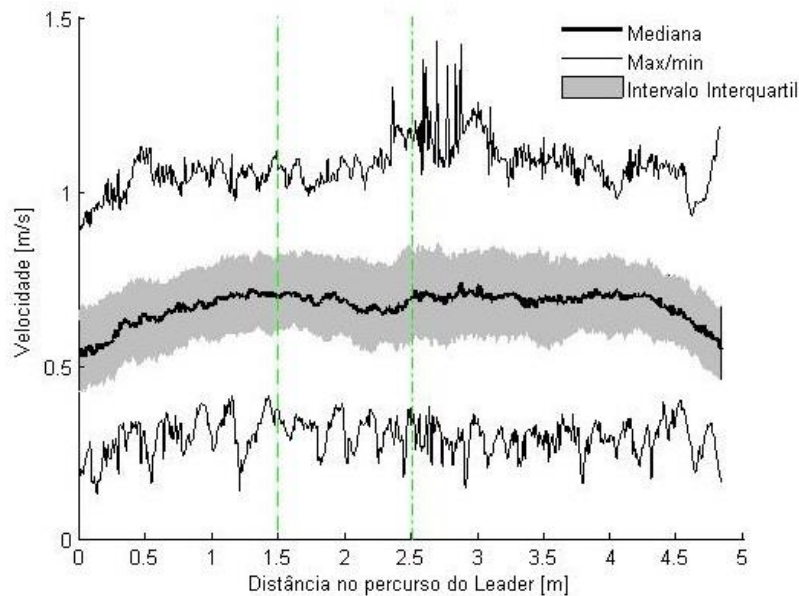


Figura 38: Perfil de velocidade de todos os participantes *Leader*, na condição A.

#### Efeito de Aprendizagem

Como é possível observar na Figura 38, a dispersão dos dados é considerável. Este facto indica que existiram ensaios que foram realizados com maior velocidade que outros. De modo a verificar se existe um efeito de aprendizagem, foi feita a relação da velocidade dos participantes *Leader* com o acumular dos ensaios. Como a análise gradual da velocidade resultaria num gráfico extremamente confuso, assumiu-se que apenas os 3 primeiros ensaios se destacam (conclusão obtida no efeito de aprendizagem relativo à variável anterior). Assim, foram comparadas as medianas e intervalos de variação das velocidades da totalidade da amostra durante os 3 primeiros ensaios e os 3 últimos da condição B. A Figura 39 ilustra esta comparação. Nesta é visível que os últimos 3 ensaios foram realizados a uma velocidade superior à dos 3 primeiros ensaios. Como se trata de valores de velocidade relativamente pequenos, a análise visual foi complementada com o teste U de *Mann-Whitney* cujos resultados podem ser observados na mesma figura. Estes mostram que, efetivamente existe uma diferença significativa entre a velocidade com a qual os participantes *Leader* realizaram os 3 primeiros ensaios e a velocidade com que os mesmos realizaram os últimos 3 ensaios, durante todo o percurso. Assim é possível concluir que existe efeito de aprendizagem por parte dos participantes *Leader*.

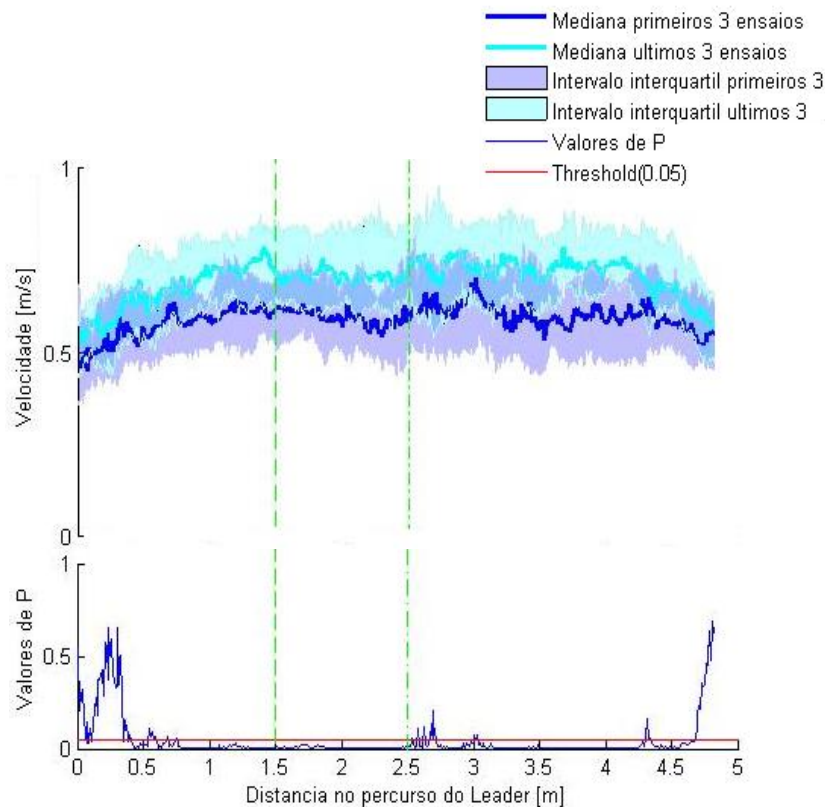


Figura 39: Perfis de velocidade dos participantes *Leader* nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios da condição A, bem como o respetivo teste estatístico de U de *Mann-Whitney*

### 3.2.1.2 Condição B

Relativamente à condição B, é apresentada a Figura 40, onde é ilustrada a mediana e intervalos de variação da velocidade com que o participante *Leader* do par 2 realizou a experiência durante a condição B. Nesta verifica-se que a velocidade deste participante permanece constante ao longo de todo o percurso e com um valor similar ao encontrado na condição A. Este comportamento verificou-se na globalidade dos participantes *Leader* conforme pode ser visto na Figura 41, onde é mostrada a mediana e os intervalos da variação de velocidade com que os participantes *Leader* realizaram a experiência durante a condição B.

Nesta figura é importante salientar o ligeiro aumento de velocidade no início e a ligeira redução no fim, que refletem a aceleração e a desaceleração no início e no fim dos ensaios, respetivamente. Este pormenor deve-se ao facto do aumento do comprimento do objeto tornar o espaço de experiência ligeiramente mais justo. Tal obriga a que a posição inicial dos participantes esteja mais próxima da área de captura, pelo que quando entram nesta estão ainda na fase de aceleração.

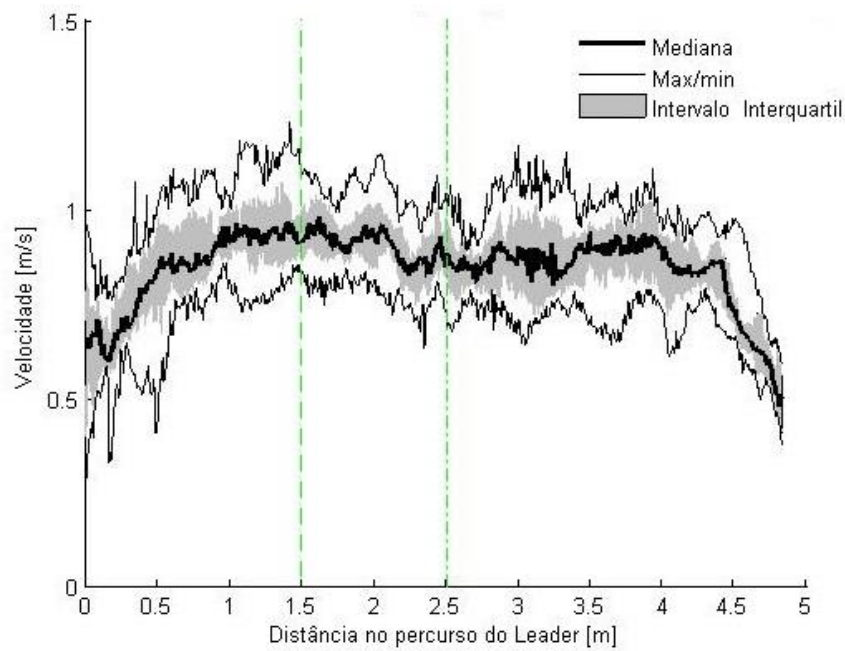


Figura 40: Perfil de velocidade do participante *Leader* do par 2 na condição B.

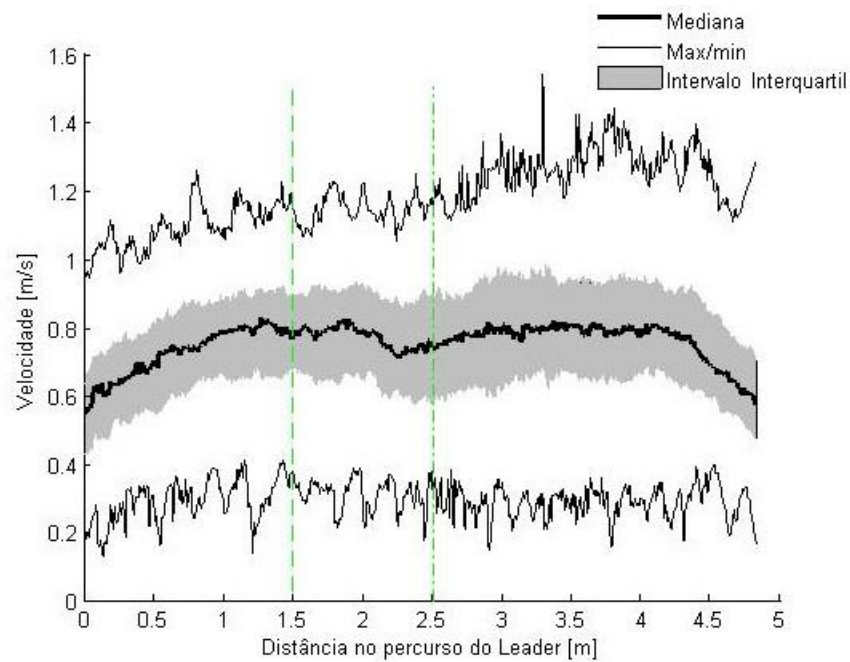


Figura 41: Perfil de velocidade dos participantes *Leader* na condição B.

Através da análise da Figura 40 e Figura 41 é possível concluir que após a aceleração inicial a velocidade dos participantes *Leader* permanece constante. Esta volta a decrescer quando este se aproxima do final da experiência.

## Efeito de Aprendizagem

Verificando a dispersão dos dados, foi aplicada a mesma análise efetuada em todas as secções referentes ao efeito de aprendizagem. Como tal, foi feita a comparação da mediana e intervalos de variação da velocidade com que os participantes *Leader* realizaram os 3 primeiros ensaios e os 3 últimos ensaios, ilustrada na Figura 42. Nesta é possível notar a similaridade entre os perfis de velocidade demonstrados pelos participantes *Leaders* nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios da condição *B*. Esta análise visual foi complementada com a aplicação do teste estatístico U de *Mann-Whitney*, cujos resultados podem ser visualizados na mesma figura.

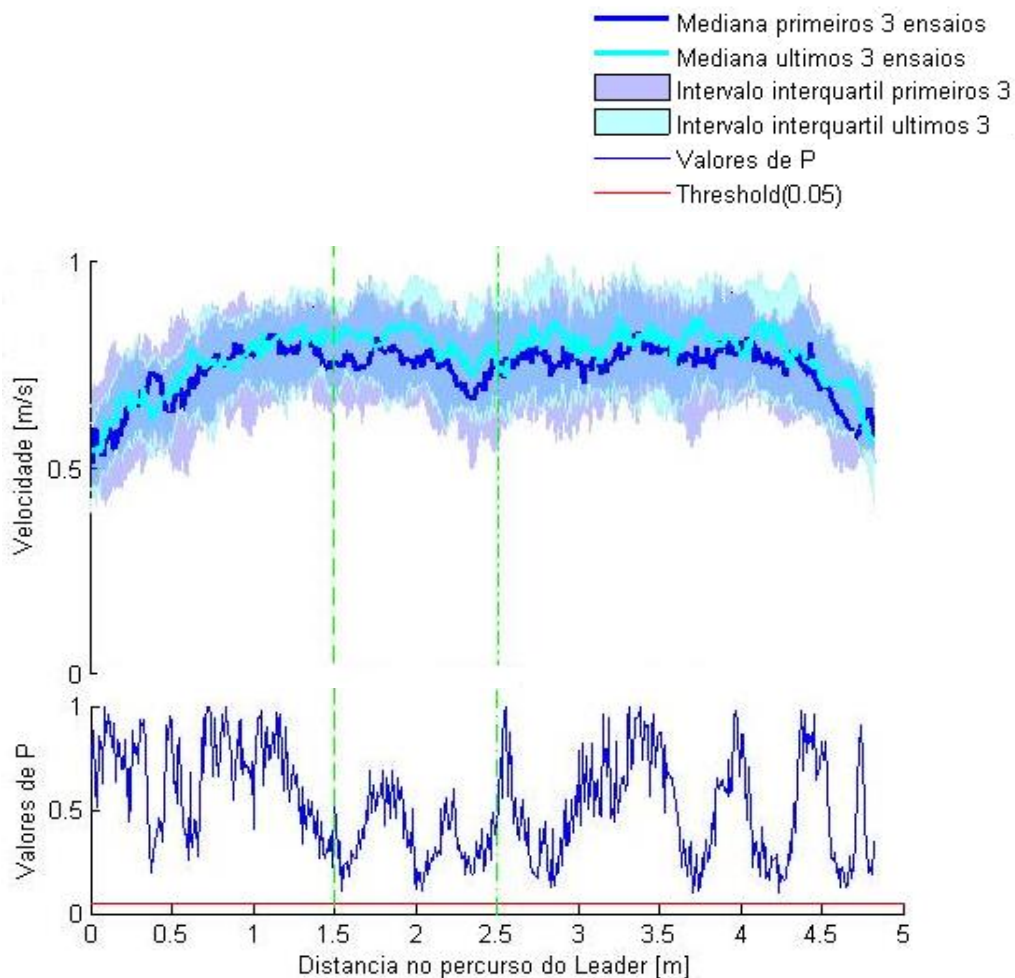


Figura 42: Comparação dos perfis velocidade dos participantes *Leader* entre os primeiros 3 ensaios e os últimos 3 ensaios da condição *B*.

Através da observação atenta da Figura 42 é possível afirmar que não existem evidências capazes de provar um efeito de aprendizagem por parte do *Leader* na condição *B*.

### 3.2.2 Follower

Nas subsecções seguintes são apresentadas as conclusões referentes aos perfis de velocidade demonstrados pelos participantes *Follower* durante a experiência.

### 3.2.2.1 Condição A

Visualizando a Figura 43, que ilustra o perfil de velocidade do participante *Follower* do par 4 na condição A, é possível afirmar que existe um ligeiro abrandamento por parte do mesmo ao longo do percurso. Este comportamento verificou-se na globalidade dos participantes *Follower* (ver Figura 44). Esta diminuição de velocidade por parte dos *Followers* enquanto a velocidade do *Leader* se revelou constante prova que, enquanto os participantes *Leader* se preocupam em alargar a sua trajetória (mantendo sempre a mesma velocidade), os participantes *Follower* abrandam, esperando que os *Leaders* descreva a curvatura (como é visível na Figura 19). Posto isto, é possível concluir que existe um ligeiro abrandamento por parte dos participantes *Follower* durante o percurso. Este efeito é atenuado devido à oscilação natural do movimento humano.

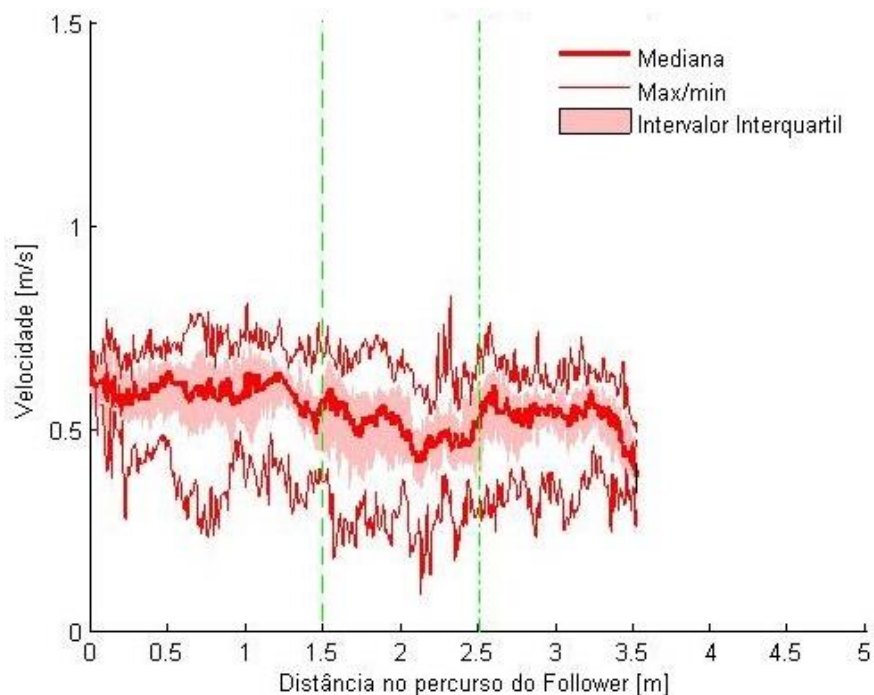


Figura 43 Velocidade do participante *Follower* do par 9, na condição A.



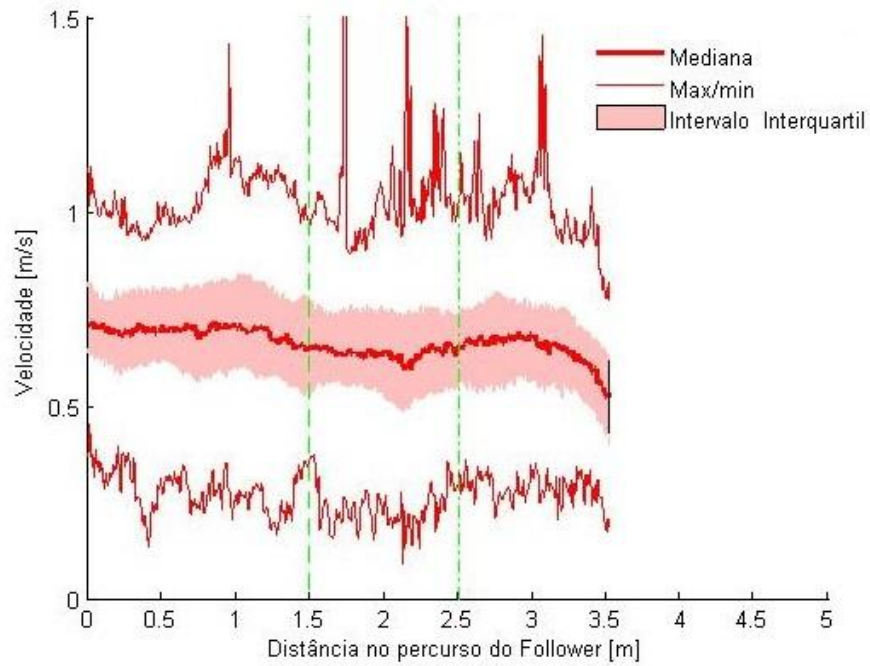


Figura 44: Velocidade dos participantes *Followers*, na condição A.

### Efeito de Aprendizagem

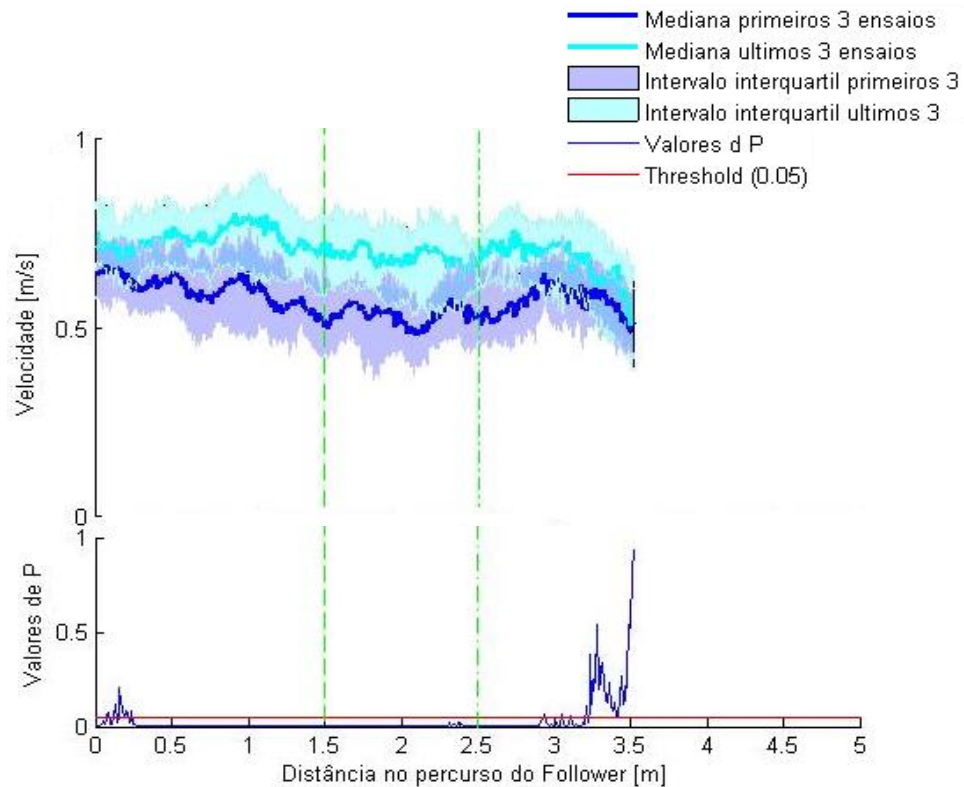


Figura 45: Perfil de velocidade dos participantes *Follower* nos 3 primeiros ensaios e nos 3 últimos, bem como o resultado do respectivo teste estatístico U de *Mann-Whitney*.

Dada a elevada dispersão dos dados encontrada na Figura 44 foi efetuada a comparação da mediana e intervalos de variação da velocidade entre os 3 primeiros ensaios e os 3 últimos para a totalidade da amostra, conforme ilustrado na Figura 45. Nesta é visível uma ligeira diferença entre a velocidade com que os participantes *Follower* executaram os 3 primeiros ensaios e os 3 últimos. Esta análise visual foi complementada com o uso do teste U de Mann-Whitney o qual revelou a existência de uma diferença significativa entre ambas as velocidades. Mais especificamente, os últimos ensaios foram realizados a uma maior velocidade que a dos primeiros. Esta diferença é apenas um reflexo do aumento de velocidade provocado pelo *Leader*, ou melhor, o efeito de aprendizagem notório nos participantes *Leader*, reflete-se na velocidade imposta aos participantes *Follower* pois trata-se de uma tarefa conjunta.

### 3.2.2.2 Condição B

Relativamente à condição B, por observação da Figura 46, onde se encontra ilustrado o perfil de velocidade do participante *Follower* do par 9, é possível denotar um abrandamento da velocidade por do mesmo ao longo do percurso, sendo este mais acentuado ao verificado na condição A. Este comportamento verificou-se na globalidade dos participantes *Follower* (ver Figura 47). Nesta encontra-se ilustrado o perfil de velocidade de todos os participantes *Follower*. Este comportamento pode dever-se ao facto do *Leader* ter alargado mais a sua trajetória o que se reflete num abrandamento mais acentuado por parte do *Follower*. Posto isto é possível concluir que o *Follower* abranda, esperando pelo *Leader* percorra a curvatura.

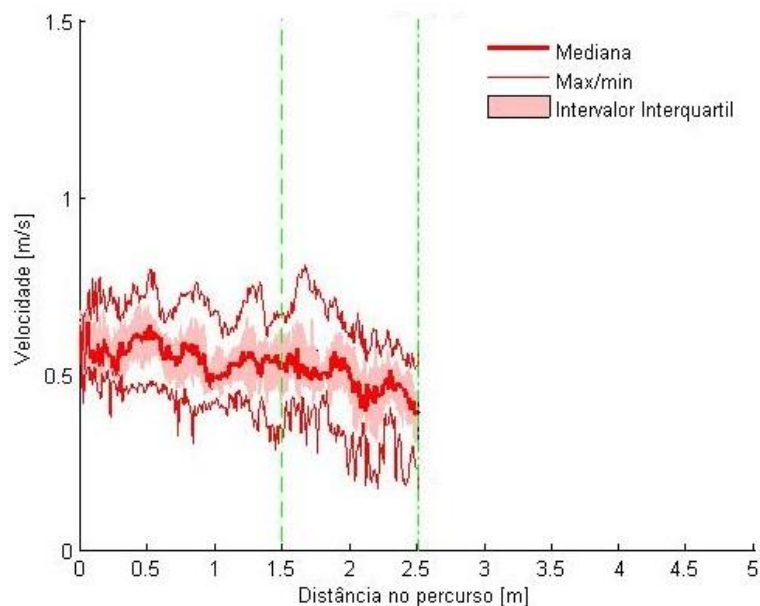


Figura 46: Perfil de velocidade do participante *Follower* do par 9, na condição B

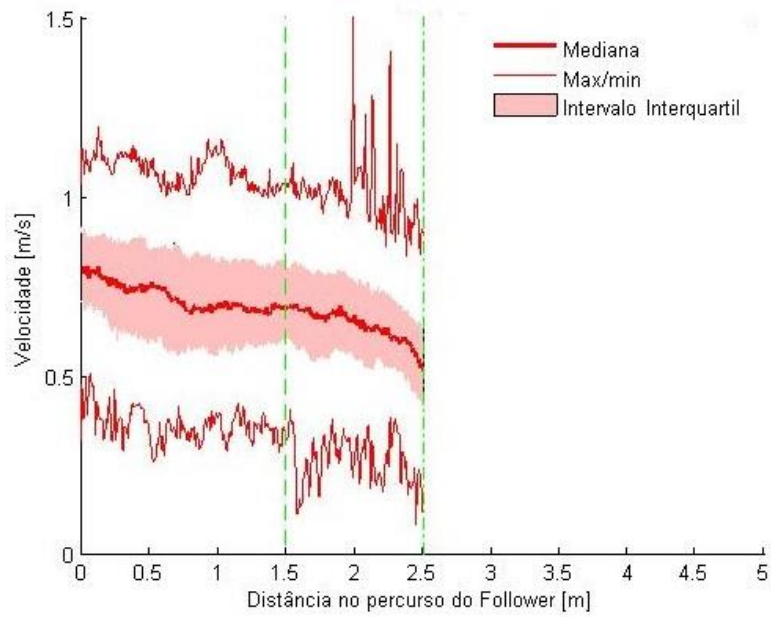


Figura 47: Perfil de velocidade de todos os participantes *Follower*, na condição B.

#### Efeito de Aprendizagem

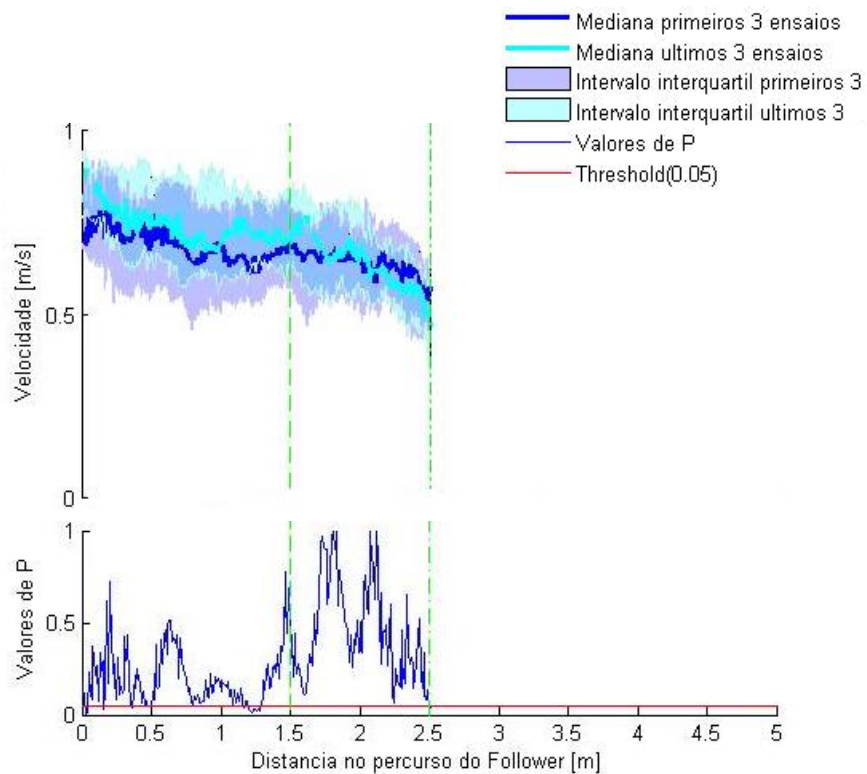


Figura 48: Perfil de velocidade dos participantes *Follower* nos 3 primeiros e nos 3 últimos ensaios. São também visíveis os resultados do teste U de *Mann-Whitney*.

Relativamente à dispersão dos dados, mais uma vez foi feita a análise com o objetivo de perceber se existiu um efeito de aprendizagem. Este efeito não foi encontrado no *Leader* nesta condição, sendo por isso improvável ser notório no *Follower*. No entanto foi feita a comparação entre a mediana e intervalos de variação da velocidade do *Follower* nos primeiros 3 ensaios e a mediana e intervalos de variação da velocidade do mesmo nos 3 últimos ensaios, conforme ilustra a Figura 48. Resultados mostram que efetivamente não existe nenhuma diferença de velocidade entre os primeiros 3 e os últimos 3 ensaios provando a inexistência deste efeito.

### 3.3 Orientação da cabeça dos participantes e orientação do objeto.

Por fim são apresentados os resultados referentes à orientação da cabeça dos participantes e à orientação do objeto transportado pelos participantes durante a experiência.

#### 3.3.1 Leader

Nas subsecções seguintes são apresentados os resultados obtidos através da análise da orientação da cabeça dos participantes Leader.

##### 3.3.1.1 Condição A

Na Figura 49, encontra-se ilustrada a orientação da cabeça do participante *Leader* do par 1 na condição A. Nesta é apenas visível que os participantes começaram a tarefa com uma orientação de aproximadamente 90 graus e terminaram a mesma com uma orientação de 180 graus.

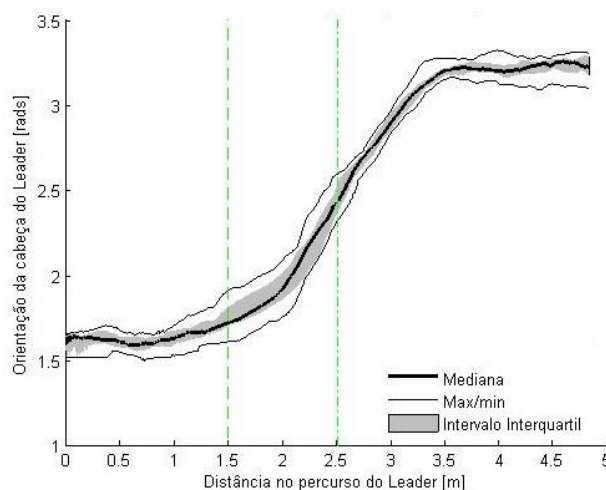


Figura 49: Orientação da cabeça do participante *Leader* do par 1, na condição A.

Este comportamento verificou-se na globalidade dos pares conforme pode ser visualizado na Figura 50, onde se encontra ilustrada a orientação da cabeça de todos os participantes *Leader*. De salientar que, nesta figura a oscilação é reduzida, sendo causada por pequenos *offsets* na colocação dos chapéus dos participantes *Leaders*. Posto isto não é possível obter conclusões significantes

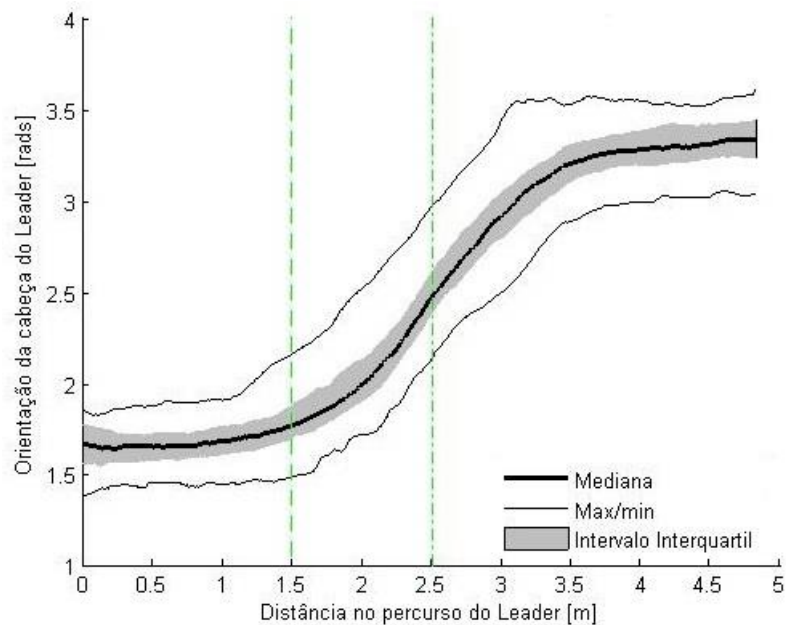


Figura 50: Orientação da cabeça dos participantes *Leader*.

### 3.3.1.2 Condição B

Na condição *B*, os resultados são muito idênticos podendo apenas ser conferida a orientação com que os participantes começaram e acabaram os ensaios. O Par 1 é, mais um vez, ilustrativo deste comportamento sendo a mediana e intervalos de variação da orientação da cabeça mostrada na Figura 51. Este comportamento foi verificado em todos os participantes *Leaders* conforme mostra a Figura 52, que mostra a mesma análise para a totalidade da amostra.

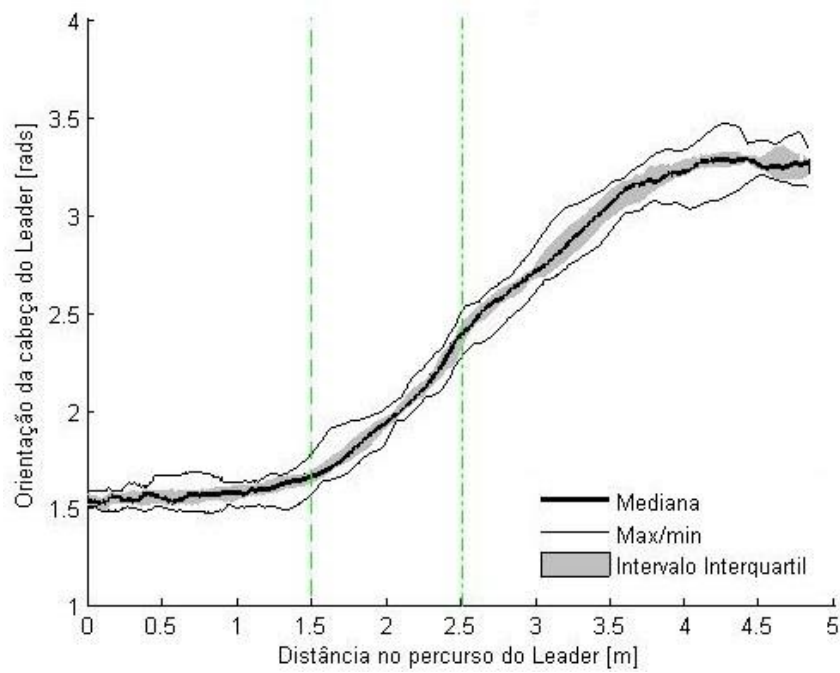


Figura 51: Orientação da cabeça do participante Leader do par 1 na condição B.

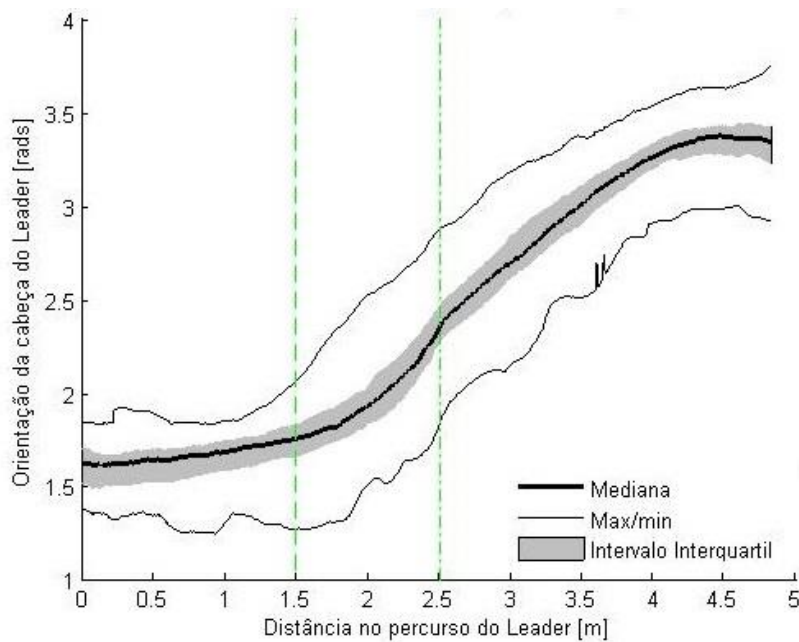


Figura 52: Orientação da cabeça dos participantes *Leaders*, na condição B.

### 3.3.2 Follower

Nesta secção as orientações da cabeça dos participantes *Follower* são analisadas juntamente com as orientações dos objetos transportados. Esta análise conjunta é feita de forma a demonstrar que os participantes *Follower* seguem a orientação do objeto.

### 3.3.2.1 Condição A

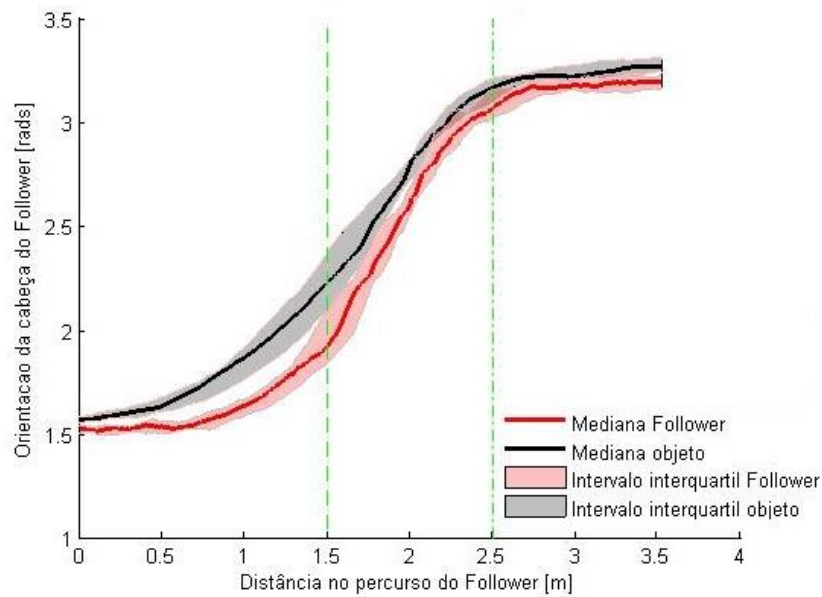


Figura 53: Orientação da cabeça do participante *Follower* do par 5 e orientação do respectivo objeto transportado, na condição A.

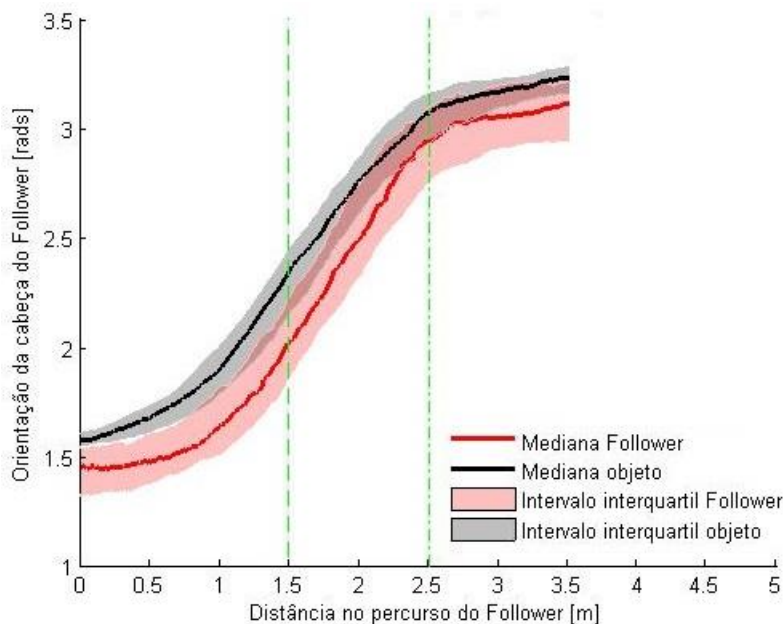


Figura 54: Orientação da cabeça dos participantes *Followers* e dos respectivos objetos transportados, na condição A.

Seguindo o exemplo da Figura 53 que ilustra as medianas e intervalos de variação da orientação da cabeça do participante *Follower* e a orientação do objeto na condição A, é visível que a orientação da cabeça do participante se encontra desfasada da orientação do objeto evidenciando o seguimento da mesma por parte deste. Esta tendência aplicou-se na globalidade dos participantes *Follower* conforme pode ser visualizado na Figura 54, onde é ilustrada a

mediana e os intervalos de variação da orientação da cabeça dos participantes e da orientação do objeto. Posto isto apenas é possível concluir que, como o participante *Follower* não consegue ver o seu parceiro, este segue a orientação do objeto.

### 3.3.2.2 Condição B

Tomando como exemplo a Figura 55, onde se encontra ilustrada a mediana e intervalos de variação da orientação da cabeça do participante *Follower* do par 5 e a orientação do objeto transportado pelo mesmo par, visível que a orientação da cabeça do participante se encontra desfasada da orientação do objeto evidenciando o seguimento da mesma por parte deste. Este comportamento verificou-se na globalidade dos pares como pode ser constatado pela observação da Figura 56. Nesta encontram-se ilustradas a mediana e os intervalos de variação da orientação da cabeça de todos os participantes *Follower* e dos objetos transportados. Nas Figura 55 e Figura 56 é importante salientar que a quantidade de informação disponível é reduzida (quando os participantes são capturados pela primeira vez já se encontram em curvatura).

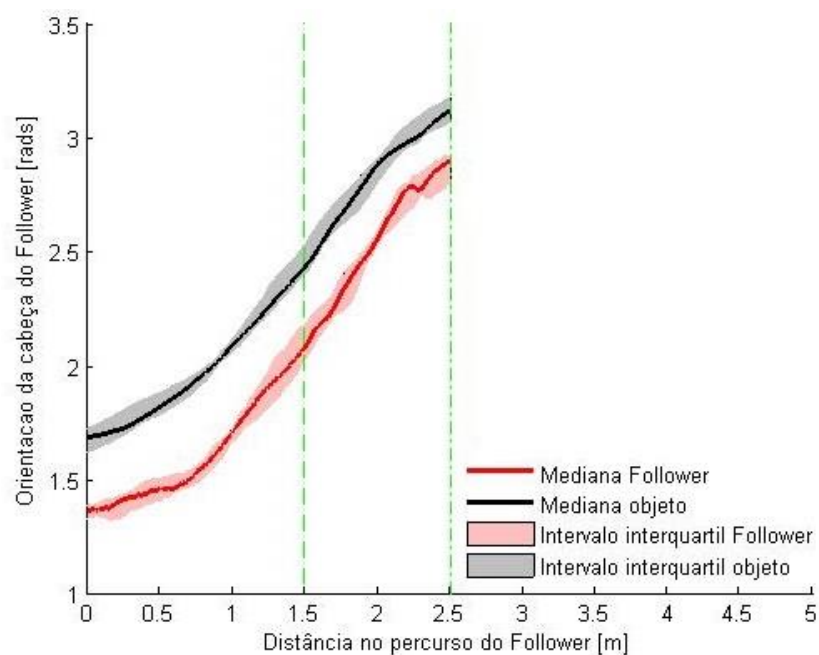


Figura 55: Orientação da cabeça do participante *Follower* do par 5 e correspondente orientação do objeto transportado, na condição B.



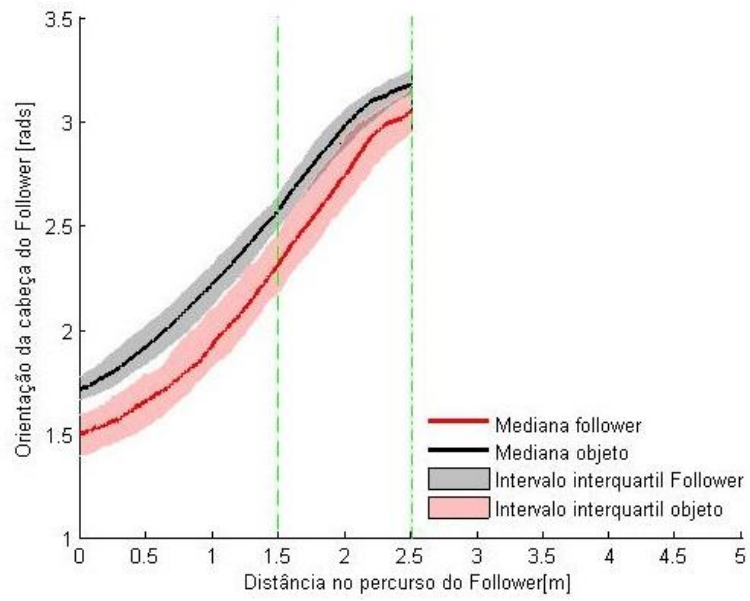


Figura 56: Orientação da cabeça dos participantes *Followers* e correspondentes orientações dos objetos transportados, na condição B.



## 4. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões que podem ser extraídas do estudo realizado. Em primeiro lugar o estudo permite concluir a adoção de uma estratégia por parte dos participantes *Leaders*. Tal é evidente nos dados que mostram que os *Leaders* se afastam da parede de modo a facilitar a passagem dos *Followers*, dando-lhe uma maior margem de manobra. É também possível concluir que, quando transportando um objeto de maiores dimensões, a estratégia usada é a mesma. No entanto, a distância mantida em relação à parede esquerda aumenta significativamente devido à existência da necessidade de dar uma maior margem de manobra ao *Follower* pois o objeto é maior.

Em relação às trajetórias descritas pelos participantes *Followers* é possível concluir que este, como não sabe o destino final, segue a orientação do objeto que transportam. É também possível concluir que os participantes *Followers* assumem a tarefa de evitar que o objeto colida com obstáculos, adequando a sua trajetória.

Segundo este estudo, é possível concluir a existência de um efeito de aprendizagem por parte do *Leader*. Os participantes *Leaders* tenderam a optar por trajetórias mais ambiciosas à medida que iam adquirindo conhecimento do cenário. Com a experiência adquirida, à medida que os ensaios iam sendo realizados, os participantes *Leader* procuraram realizar o percurso mais rapidamente. Prova disso é o aumento notório da velocidade entre os primeiros e os últimos ensaios na condição *A*. Este efeito de aprendizagem apenas foi notório na condição *A* pois foi a primeira condição a ser realizada. Como na condição *B* os participantes *Leaders* já tinha conhecimento do cenário este efeito já não foi notório nesta condição. Para testar o efeito de aprendizagem em ambas as condições deveria ter sido feita a troca da condição inicial entre os vários pares. No entanto isso requeria um maior número de pares a realizar a experiência. O efeito de aprendizagem não é notório no *Follower*. No entanto, o aumento de velocidade por parte dos participantes *Leaders* acabou por se refletir nas velocidades dos *Followers*.

Em termos de limitações do nosso estudo destacam-se a falha na captura dos ensaios cujo destino final era o ponto *B* (ver Figura 2). Os testes realizados ao equipamento demonstravam uma mínima falha naquela zona, que era facilmente compensada pelo *Vicon Nexus (gap filling)*. No entanto, com a variação das alturas dos participantes, esta falha tornou-se demasiado grande para poder compensada e aproveitada. Esta limitação impediu que se percebesse a existência

de diferenças entre curvaturas à esquerda e à direita. Conclui-se assim que experiências deste género devem ser realizadas em espaços maiores e preferencialmente com um maior número de câmaras, com o objetivo de aumentar a área de captura.

Relativamente ao trabalho futuro deverá passar pela transposição das conclusões do estudo para as estratégias de controlo dos robôs móveis. Para tal, os seguintes aspetos deverão ser tidos em conta que:

- os resultados evidenciam uma contribuição importante do efeito de aprendizagem para a otimização de trajetórias o que permite advogar a existência de vantagens na implementação nos robôs de estratégias de mapeamento do ambiente em que estão a operar. Tal permitiria a introdução de estratégias preditivas por oposição às puramente reativas que são atualmente as mais comuns;
- na ausência de sistemas de mapeamento será desejável a implementação de mecanismos que permitam ao robô operar segundo trajetórias similares às desenvolvidas pelos participantes do estudo nas condições em que o cenário era desconhecido. Tal traduz-se na adoção pelo agente *Leader* de trajetórias com margens de segurança nas zonas de curvatura que tenham em conta a dimensão da carga a transportar. A velocidade deverá igualmente ser adequada, sendo tanto menor quanto mais longo for o objeto a transportar;
- o comportamento do robô que assume o papel de *Follower* deve estar diretamente associado à distância mínima do objeto à parede, ou seja, o robô deverá ter em atenção não só os possíveis obstáculos à sua volta mas também os obstáculos capazes de provocar a colisão do objeto que transporta.

Relativamente ao estudo em concreto, em futuras versões deverá ser efetuada a alternância na ordem das condições experimentais. É também desejável a realização de estudos em outros tipos de cenários como por exemplo a entrada em corredores apertados ou corredores sem saída. Estes cenários são particularmente difíceis de gerir em situações de transporte cooperativo, pelo que faz sentido a realização de estudos que permitam perceber quais as estratégias adotadas por seres humanos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. a. C. Parker and E. a. Croft, “Experimental investigation of human-robot cooperative carrying,” *2011 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 3361–3366, Sep. 2011.
- [2] M. Cakmak, S. S. Srinivasa, M. K. Lee, S. Kiesler, and J. Forlizzi, “Using spatial and temporal contrast for fluent robot-human hand-overs,” *Proc. 6th Int. Conf. Human-robot Interact. - HRI '11*, p. 489, 2011.
- [3] T. Fong, I. Nourbakhsh, and K. Dautenhahn, “A survey of socially interactive robots,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 42, no. 3–4, pp. 143–166, Mar. 2003.
- [4] A. Schubö, C. Vesper, M. Wiesbeck, and S. Stork, “Movement Coordination in Applied Human-Human and Human-Robot Interaction,” pp. 143–154, 2007.
- [5] S. Glasauer, M. Huber, P. Basili, a. Knoll, and T. Brandt, “Interacting in time and space: Investigating human-human and human-robot joint action,” *19th Int. Symp. Robot Hum. Interact. Commun.*, pp. 252–257, Sep. 2010.
- [6] T. Malheiro, “Object Transportation Task by a Human and a Mobile Manipulator: a non-linear attractor dynamics approach,” Universidade do Minho, 2011.
- [7] S. Streuber and A. Chatziastros, “Human Interaction in Multi-User Virtual Reality,” in *Proceedings of the 10th International Conference on Humans and Computers. HC 2007*, 2007, p. ?–?
- [8] T. Malheiro, T. Machado, and S. Monteiro, “Object transportation by a human and a mobile manipulator: a dynamical systems approach,” 2012.
- [9] M. A. Goodrich and A. C. Schultz, “Human-Robot Interaction: A Survey,” *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, vol. 1, no. 3. pp. 203–275, 2007.
- [10] A. Goswami and M. A. Peshkin, “PASSIVE ROBOTICS : AN EXPLORATION OF MECHANICAL COMPUTATION Locus of attainable centers of,” pp. 1–6, 1990.
- [11] K. Fukaya, Y. Hirata, Z. Wang, and K. Kosuge, “Design and Control of A Passive Mobile Robot System for Object Transportation,” *2006 Int. Conf. Mechatronics Autom.*, pp. 31–36, Jun. 2006.
- [12] Y. Hirata, Z. Wang, and K. Kosuge, “Human-Robot Interaction Based on Passive Robotics CONDITION OF PASSIVE-TYPE,” pp. 4206–4209, 2006.
- [13] Y. Hirata, Y. Ojima, and K. Kosuge, “Coordinated motion control of multiple passive object handling robots based on environment information,” *2009 IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp. 2338–2343, May 2009.
- [14] Y. Hirata, K. Suzuki, and K. Kosuge, “Improvement in the performance of passive motion support system with wires based on analysis of brake control,” *2011 IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp. 4272–4277, May 2011.

- [15] Y. Hirata and K. Kosuge, “Distributed robot helpers handling a single object in cooperation with a human,” *Proc. 2000 ICRA. Millenn. Conf. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. Symp. Proc. (Cat. No.00CH37065)*, vol. 1, 2000.
- [16] Y. Hirata, T. Takagi, K. Kosuge, H. Asama, H. Kaetsu, and K. Kawabata, “Map-based control of distributed robot helpers for transporting an object in cooperation with a human,” *Proc. 2001 ICRA. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (Cat. No.01CH37164)*, vol. 3, pp. 3010–3015, 2001.
- [17] R. Ikeura, H. Monden, and H. Inooka, “Cooperative motion control of a robot and a human,” *Proc. 1994 3rd IEEE Int. Work. Robot Hum. Commun.*, 1994.
- [18] N. Hogan, “Impedance Control: An Approach to Manipulation: Part I—Theory,” *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 107, no. 1. p. 1, 1985.
- [19] N. Hogan, “Impedance Control: An Approach to Manipulation: Part II - Implementation,” *J. Dyn. Syst. Meas. Control*, vol. 107, pp. 17–24, 1985.
- [20] N. Hogan, “Impedance Control: An Approach to Manipulation: Part III—Applications,” *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 107, no. 1. p. 17, 1985.
- [21] R. Ikeura and H. Inooka, “Variable impedance control of a robot for cooperation with a human,” in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1995, vol. 3, pp. 3097–3102.
- [22] F. G. Pereira, F. B. de Sa, D. B. Ferreira, and R. F. Vassallo, “Object transportation task by a human and a mobile robot,” *2010 IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 1445–1450, 2010.
- [23] E. Bicho, L. Louro, N. Hip, S. Monteiro, and W. Erlhagen, “Motion control of a mobile robot transporting a large size object in cooperation with a human: a nonlinear dynamical systems approach,” pp. 197–203, 2003.
- [24] D. De Carli, E. Hohert, C. A. C. Parker, S. Zoghbi, S. Leonard, E. Croft, and A. Bicchi, “Measuring intent in human-robot cooperative manipulation,” in *2009 IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games, HAVE 2009 - Proceedings*, 2009, pp. 159–163.
- [25] H. Arai, T. Takubo, Y. Hayashibara, and K. Tanie, “Human-robot cooperative manipulation using a virtual nonholonomic constraint,” *Proc. 2000 ICRA. Millenn. Conf. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. Symp. Proc. (Cat. No.00CH37065)*, vol. 4, 2000.
- [26] M. Rahman, R. Ikeura, and K. Mizutani, “Cooperation characteristics of two humans in moving an object,” *Mach. Intell. Robot. Control*, 2002.
- [27] A. B. Shahrman, R. Ikeura, S. Ahmad Faizal, T. Yano, K. Mizutani, and H. Sawai, “A study of human sense effects and characteristic during human-human cooperative task,” *2009 2nd Conf. Hum. Syst. Interact.*, pp. 679–684, May 2009.

- [28] S. A. Bakar, R. Ikeura, Y. Handa, T. Yano, K. Mizutani, and H. Sawai, "Communication during the Cooperative Motion in the Task of Carrying an Object between Two Humans," *J. Biomech. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 104–118, 2010.
- [29] T. Minato, M. Shimada, H. Ishiguro, and S. Itakura, "Development of an Android Robot for Studying Human-Robot Interaction," *Innov. Appl. Artif. Intell.*, pp. 424–434, 2004.
- [30] J. Goetz, S. Kiesler, and A. Powers, "Matching robot appearance and behavior to tasks to improve human-robot cooperation," in *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 2003, pp. 55–60.
- [31] Wikipédia, "Motion capture," 2013. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Motion\\_capture](http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture).
- [32] Dan Sunday, "Geometry Algorithms Home," 2012. [Online]. Available: <http://geomalgorithms.com/index.html>.
- [33] T. Machado, T. Malheiro, S. Monteiro, E. Bicho, and W. Erlhagen, "Transportation of long objects in unknown cluttered environments by a team of robots: A dynamical systems approach," *2013 IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, pp. 1–6, May 2013.
- [34] A. Konno and M. Uchiyama, "Cooperative object transportation by multiple humanoid robots," *2011 IEEE/SICE Int. Symp. Syst. Integr.*, pp. 779–784, Dec. 2011.
- [35] J. Stuckler and S. Behnke, "Following human guidance to cooperatively carry a large object," *2011 11th IEEE-RAS Int. Conf. Humanoid Robot.*, pp. 218–223, Oct. 2011.





# ANEXO I – PROPOSTA SUBMETIDA À COMISSÃO DE ÉTICA DA UNIVERSIDADE DO MINHO.

## Research Protocol

**Project Title:** Study of humans' movement in joint carrying tasks.

### Principal Investigators (PI):

Estela Bicho

Associate professor at the Department of Industrial Electronics at University of Minho, Portugal. Staff member of the MIT|Portugal Joint Program on Advanced Studies in Bioengineering.

Mail: estela.bicho@dei.uminho.pt

Toni Machado

PhD Student at University of Minho

E-Mail: tmachado@dei.uminho.pt

Emanuel Sousa

PhD Student at University of Minho

E-Mail: esousa@dei.uminho.pt

Fábio Ferreira

Master student at University of Minho

E-Mail: a58790@alunos.uminho.pt

## **Introduction**

In the last few years, human-robot and robot-robot interaction has become an important field of research. Its main purpose is the development of robots that can assist humans, in the performance of everyday tasks. A challenging example is the transportation of loads that due to size or weight cannot be carried by a single human or robot. Tackling this challenge implies the development of specialized control strategies that take into account the particular nature of such tasks. Recent works have successfully addressed such issue both in robot-robot teams (e.g. [33]; [34]) and in human-robot teams (e.g. [8]; [22]; [35]).

An important aspect of these studies is that little attention was paid to the strategies employed by human beings when confronted with these specific tasks. However, it is known that an important factor favoring the human acceptance of robots as partners is the recognizability of their behaviors ([3]). It is thus important that the strategies employed by robots in joint transportation tasks follow similar principles to ones used by humans.

The main purpose of this study is to acquire knowledge on how humans perform a joint transportation task, especially when faced with situations that require a stronger coordination between partners, such as obstacles or narrow corridors.

## **Ethical Considerations**

In order to comply with the Convention of Oviedo; the Convention on Human Rights and Biomedicine; The Nuremberg Code; and The Belmont Report, full ethics approval will be sought from the University of Minho Ethics Committee.

The primary purpose of our research is to understand how humans coordinate their movements in joint carrying tasks, especially when difficulties like narrow corridors are found, in order to adjust the existing models and obtain a similar behaviour when the same task is developed by a pair of robots or a human and a robot under the same circumstances.

The subjects used in this study will be only volunteers from the university's staff and students: 12 pairs which results in 24 participants, 18-60 years old (with no motor difficulties).

Recruitment will be based on advertisements placed in the University, inviting volunteers to take part in an experiment that involves a joint carrying task that aims the improvement of robots behaviour in similar tasks.

In the experiment, two participants will carry a wooden beam from one point to another of the room. Different experiment conditions will be studied, by varying the width of the walking path, the length of the object to transport and the participants visibility. The main

analysis goal is to find out how humans solve this kind of problem and how does it affect their trajectories. During the experiment, each participant will wear a helmet with 3 markers attached that, through a motion tracking system, will allow us to track their positions during the experiment. The helmet is built to fit comfortably in the head of the participants. Nevertheless, all participants will be informed that their contribution is voluntary and they are free to leave at any time if anything makes them feel discomfort. The participant will not, in any circumstance, be at physical or psychological risk, and they can choose to leave the experience at any time. Our research populations do not include vulnerable participants or subjects in need special protection. None of our procedures will risk the life, health, dignity, integrity, right to self-determination, privacy, and confidentiality of personal information of research subjects. None of our procedures is liable to harm the environment.

All the participants will be provided with a written brochure that explains what is going to be done in the experiment and given a chance to ask any question about it. The main purpose of the experiment, specifically, which feature of the walking path will be analysed, will be hidden at the beginning of the experiment in order to do not influence the results. In the end, more details about the experiment will be provided to the participant and will be given the chance to ask and discuss any question about the study.

Every precaution will be taken to protect the privacy of research subjects and the confidentiality of their personal information and to minimize the impact of the study on their physical, mental and social integrity. Participant's data will only be identified by a number; it would be impossible for the investigator to know which subject corresponds to which data set. All data is kept on a PC in the Laboratory of Visualization and Perception lab. This PC has a password and the office where the machine is based, is only accessible to the PI. The laboratory in which the office is based is only accessible to School staff which as an encoded university security swipe card.

As potential authors, we will make publicly available the results of our research on human subjects will be accurately reported in peer reviewed scientific journals always that significant data will arise, or made publicly available if results are negative or inconclusive.

## Cronogram

*Predicted cronogram (Predicted duration of the main Project fases throughtout 2013 and 2015) and time spent dedicated to the Project from each resaecher*

**Legend:** Time dedicated to the project TM: Toni Machado (PhD student); FF: Fabio Ferreira (Master student); EB: Estela Bicho; and ES: Emanuel Sousa (PhD student).

Fase do Projecto	2013 September / December	2014 January/April	2014 July/August	2014 September/ October	2014-2015 November/ January
Literature review	EB (10%) TM (20%) ES (5%) FF (60%)	EB (10%) TM (20%) ES (5%) FF (60%)	EB (5%) TM (5%) ES (5%) FF (10%)	EB (5%) TM (5%) ES (5%) FF (10%)	EB (5%) TM (5%) ES (5%) FF (5%)
Learning to use the instruments and data collection.	TM (10%) ES (30%) FF (40%)	EB (5%) TM (20%) ES (40%) FF (40%)			
Data Collection - Fase 1			EB (10%) TM (35%) ES (35%) FF (40%)		
Data analisys and discussion			EB (10%) TM (35%) ES (35%) FF (40%)	TM (30%) FF (40%)	
Robot implementation					EB (5%) TM (50%) FF (50%)
Writting and submitting papers			EB (5%) TM (5%) ES (5%) FF (10%)	EB (10%) TM (20%) ES (5%) FF (20%)	EB (25%) TM (40%) ES (10%) FF (40%)

## Main bibliographic References

- Fong, T., Nourbakhsh, I. & Dautenhahn, K., 2003. A survey of socially interactive robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 42(3-4), pp.143–166. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092188900200372X> [Accessed May 27, 2014].
- Konno, A. & Uchiyama, M., 2011. Cooperative object transportation by multiple humanoid robots. *2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp.779–784. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6147547>.
- Machado, T. et al., 2013. Transportation of long objects in unknown cluttered environments by a team of robots: A dynamical systems approach. *2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp.1–6. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6563794>.
- Malheiro, T., Machado, T. & Monteiro, S., 2012. Object transportation by a human and a mobile manipulator: a dynamical systems approach. Available at: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/18907> [Accessed March 17, 2014].
- Pereira, F.G. et al., 2010. Object transportation task by a human and a mobile robot. *2010 IEEE International Conference on Industrial Technology*, pp.1445–1450. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5472494>.
- Stuckler, J. & Behnke, S., 2011. Following human guidance to cooperatively carry a large object. *2011 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp.218–223. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6100917>.



## ANEXO II – FORMULÁRIO DO CONSENTIMENTO INFORMADO

Universidade do Minho  
Campus de Azurém  
Guimarães 4800-058  
Portugal  
Telefone: +351 253 510 190  
Web: [www.dei.uminho.pt](http://www.dei.uminho.pt)

Título: Professora Doutora  
Nome: Estela Bicho  
Posição: Associate Professor  
Tel: +351 253 510 181  
Email: [estela.bicho@dei.uminho.pt](mailto:estela.bicho@dei.uminho.pt)

### CONSENTIMENTO INFORMADO, ESCLARECIDO E LIVRE PARA PARTICIPAÇÃO EM ESTUDOS DE INVESTIGAÇÃO.

#### AO VOLUNTÁRIO/REPRESENTANTE:

Por favor, leia com atenção todo o conteúdo deste documento. Não hesite em solicitar mais informações ao supervisor da experiência se não estiver completamente esclarecido. Verifique se todas as informações estão corretas. Se entender que tudo está em conformidade e se estiver de acordo com a proposta que lhe é feita, então assine este documento.

- Declaro ter compreendido os objetivos de quanto me foi proposto e explicado pelo supervisor que assina este documento, ter-me sido dada oportunidade de fazer todas as perguntas sobre o assunto e para todas elas ter obtido resposta esclarecedora, ter-me sido garantido que não haverá prejuízo para os meus direitos assistenciais se eu recusar esta solicitação, e ter-me sido dado tempo suficiente para refletir sobre esta proposta. Autorizo o aco indicado, bem como os procedimentos diretamente relacionados que sejam necessários no meu próprio interesse.

**Estudo dos movimentos de humanos em tarefas cooperativas de transporte de  
objetos.**

O presente estudo decorrerá nas instalações da Universidade do Minho, no Laboratório de Computação Gráfica, sediado no Campus de Azurém, Guimarães, sob a orientação do investigador Doutora Estela Bicho.

O principal objetivo deste estudo visa a melhor compreensão de como é que pares de humanos coordenam as suas atividades e movimentos numa tarefa de transporte cooperativo de modo a poder melhorar o desempenho de grupos de robôs ou até mesmo grupos de robôs e humanos em tarefas similares.

A sua tarefa vai ser o transporte de uma estrutura de madeira com a ajuda de outra pessoa, também participante desta experiência. A mesma tarefa será realizada 72 vezes: 36 vezes com uma estrutura de comprimento 1,5 m e 36 vezes com uma estrutura de 2,5m. O objetivo será recolher informação sobre as trajetórias efetuadas por ambos os participantes. O tempo previsto para a realização da experiência é de cerca de 60 minutos e vai ser dada a oportunidade dos participantes descansarem ao longo da mesma. De salientar que estará sempre acompanhado pelo supervisor da experiência. Em nenhuma circunstância deste estudo ser-lhe-á posta em causa a sua integridade física ou psicológica e não são esperados quaisquer efeitos secundários da experiência.

Este estudo segue as Guidelines do processo de revisão ética da Universidade do Minho e mereceu parecer favorável da Comissão de Ética da mesma instituição. A sua participação tem um carácter inteiramente voluntário. A recusa ou desistência da sua participação não lhe trará qualquer prejuízo e será aceite sem crítica ou comentários. Em qualquer circunstância, o direito de confidencialidade ser-lhe-á garantido e os dados recolhidos serão exclusivamente utilizados para fins de investigação.

Por favor, leia com atenção a seguinte informação. Se achar que algo está incorreto ou que não está claro, não hesite em solicitar mais informações ao investigador Doutora Estela Bicho através do contacto telefónico (+351 253 510 181) ou do e-mail (estela.bicho@dei.uminho.pt). Se concordar com a proposta que lhe foi feita, queira assinar este documento.

Nota: Este documento é composto de 2 páginas e feito em duplicado: uma via para o/a investigador/a, outra para a pessoa que consente.

\_\_\_\_\_ (localidade), \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_



NOME \_\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_

Se não for o doente a assinar:

Nome: \_\_\_\_\_

BI/CD n.º: \_\_\_\_\_, data/validade \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Morada \_\_\_\_\_

Grau de parentesco ou tipo de representação: \_\_\_\_\_