

Qual a distância de conforto para interação entre um humano e um robô industrial colaborativo?

Ana Carolina Santos Barbizan², Helio Azevedo¹

anabarbizan@estudante.ufscar.br, hazevedo.cti@gmail.com

¹Divisão de Sistemas Ciberfísicos - DISCF

Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer - Campinas/SP

**²Departamento de Estatística
Universidade Federal de São Carlos - São Carlos/SP**

Abstract. Humans interact through a complex mechanism involving cultural and non-verbal factors, such as kinesics, haptics, visual cues, thermal perception, olfactory cues, and voice sonority, collectively termed proxemics. Interpersonal distance is its most expressive signal and must be considered when interacting with robots to ensure comfort and safety. This study hypothesizes that human comfort distance decreases during mutual interest activities. A human-robot interaction experiment using a card game was conducted, generating quantitative data on robot distance and qualitative data from participant impressions. These findings are relevant to industrial environments, where the demand for collaborative robots is increasing.

Resumo. Os humanos interagem por meio de um mecanismo complexo que envolve fatores culturais e não-verbais, como cinésica, háptica, pistas visuais, percepção térmica, pistas olfativas e sonoridade da voz, definidos pelo termo proxêmico. A distância interpessoal, seu sinal mais expressivo, deve ser considerada ao interagir com robôs para garantir conforto e segurança. Este estudo propõe que a distância de conforto diminui durante atividades de interesse mútuo. Um experimento de interação humano-robô com um jogo de cartas foi realizado, gerando dados quantitativos sobre a distância do robô e qualitativos das impressões dos participantes. Esses resultados são relevantes para ambientes industriais, onde cresce a demanda por robôs colaborativos.

1. Introdução

A negociação de distâncias sociais entre os membros de um grupo tem por objetivo proteger o grupo como um todo, viabilizando que vários indivíduos de uma mesma comunidade se concentrem no mesmo local respeitando uma distância confortável entre si e reduzindo conflitos internos.

Esse comportamento, existente por toda a história do homem, foi cunhado de proxêmica pelo antropólogo americano Edward T. Hall em sua obra “A Dimensão Oculta” [8]. Segundo Hall, a proxêmica pode ser definida como um comportamento não verbal que engloba a distância interpessoal, direção do olhar, postura corporal, posição dos ombros, etc.

Ao reconhecer o aspecto da distância interpessoal como sendo o comportamento não verbal mais expressivo, Hall o descreve como um conjunto de espaços circulares divididos em: espaço íntimo (0.15m-0.45m), espaço pessoal (0.46m-1.5 m), espaço social (1.6m-3.7m) e espaço público (mais que 3.7m) (Fig. 1.1). Naturalmente essas distâncias são variáveis e dependem de fatores como: cultura, ambiente da interação, hierarquia social, entre outros.

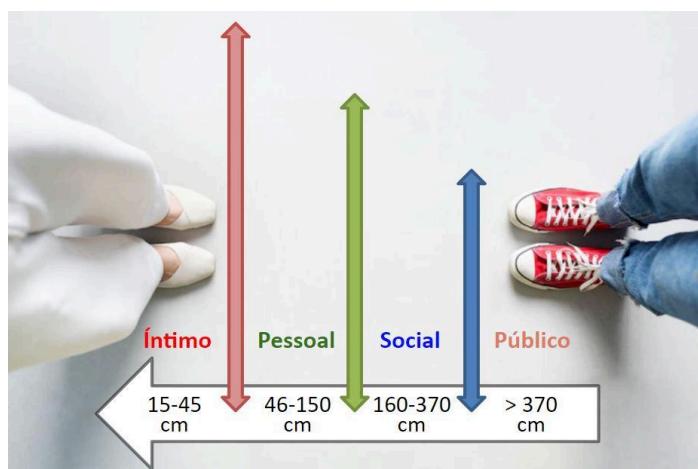


Fig. 1. Ilustração de distâncias interpessoais.

Nos últimos anos, novos agentes foram gradualmente incorporados ao círculo de relações humanas, com ênfase em robôs móveis operando em edifícios públicos, residências ou indústrias. Além das questões proxêmicas, os robôs móveis também requerem comunicação direta com os humanos, seja por meio de comunicação verbal ou interfaces como monitores e teclados. A implementação de mecanismos para essa interação herda conhecimentos e habilidades da Intereração Humano-Computador (IHC), uma área tradicional da computação, como explorado na próxima subseção.

1.1 Intereração Humano-Computador (IHC) e Robôs

O nível de informação necessário na interação entre o humano e o robô depende da autonomia exercida pelo robô em um dado momento. Por um lado, temos o Robô Automatizado, que requer pouca interação, pois possui um comportamento automático e é geralmente usado em automação industrial básica. No outro extremo, com maior complexidade, temos o Robô Totalmente Autônomo, que é completamente autônomo, atuando como um robô de serviço (definição em linha com os níveis de autonomia presentes na norma IEEE [10]).

Naturalmente, considerando os muitos interesses comuns, a Interação Humano-Robô (IHR) utiliza amplamente conceitos já consolidados pela Interação Humano-Computador (IHC). No entanto, robôs autônomos apresentam comportamento físico dinâmico que requer modelos específicos de IHR [9] [2].

Na verdade, a Interação Humano-Robô (IHR) é uma área de pesquisa relativamente recente que ainda está buscando definir seu escopo de ação. Como forma de destacar essa diversidade, apresentamos três visões:

- Goodrich: “IHR é um campo de estudo dedicado a entender, projetar e avaliar sistemas robóticos para uso por ou com humanos” [7].
- Feil-Seifer e Matarić: “IHR é o estudo interdisciplinar da dinâmica da interação entre humanos e robôs” [5].
- Relatório do World Technology Evaluation Center (WTEC): “IHR é uma nova área de pesquisa que visa estender a funcionalidade e a usabilidade dos robôs, tornando as interações com humanos mais naturais e compatíveis com as expectativas e capacidades humanas” [23].

Essa profusão de visões surge da multiplicidade de campos que a área de IHR reúne: engenharia (elétrica, mecânica, industrial), ciência da computação (interação humano-computador, inteligência artificial, robótica, compreensão da linguagem natural e visão computacional), ciências sociais (psicologia, ciência cognitiva, antropologia e fatores humanos) e humanidades (ética e filosofia) [7]. Essa multiplicidade também nos permite definir a IHR como uma disciplina que reúne resultados de outras áreas aplicados conjuntamente na comunicação entre agentes humanos e robóticos.

A robótica social representa uma subárea importante da IHR, focando no estudo das interações sociais entre robôs e humanos. Um aspecto significativo dessa subárea consiste em interpretar o ambiente, perceber e identificar o comportamento humano.

1.2. Robôs industriais colaborativos

No contexto industrial, robôs que anteriormente permaneciam confinados em gaiolas começaram a ganhar autonomia e a se mover livremente pelo chão da fábrica, exigindo uma interação próxima com os seres humanos. Vale destacar que, em 2022, as instalações de robôs industriais atingiram um recorde de 553 mil unidades instaladas. Desse total, 10% (55 mil) envolvem robôs industriais colaborativos (cobots) [11].

Cobots são projetados para realizar tarefas colaborativas com humanos em um espaço de trabalho compartilhado [11]. Eles podem operar a partir de uma base fixa, mas há uma demanda crescente por robôs móveis usados, por exemplo, para transportar

materiais de uma estação de trabalho para outra. Mesmo com essa expansão, o mercado de cobots ainda está em sua infância, com integradores e usuários ainda ganhando experiência e identificando novas necessidades. Em linha com as necessidades do mercado, os pesquisadores buscam tecnologias avançadas e soluções robustas para essa nova classe de aplicação.

As interações entre cobots e humanos priorizam a segurança e a confiabilidade em interfaces intuitivas. Por outro lado, aspectos como empatia, reconhecimento de emoções e expressividade do robô têm relevância reduzida em um ambiente industrial. No entanto, uma distância inadequada pode gerar desconforto e angústia no operador ao enfrentar um equipamento autônomo e poderoso [12].

1.3. Objetivo de pesquisa

Esta pesquisa explora a interação de cobots com humanos usando um robô móvel com uma plataforma operacional simplificada, similar àquelas encontradas em instalações industriais. A atividade de interação envolve um jogo de cartas, chamado Blackjack, que requer que o sujeito da pesquisa se aproxime da posição do cobot para apresentar a carta obtida de um baralho sobre uma mesa.

O objetivo principal é validar a hipótese de que a distância proxémica dos humanos em relação ao cobot não é constante, mas sim variável, dependendo da atividade em andamento e diminuindo à medida que a atividade progride e o humano se familiariza com o robô. Esse ganho de familiaridade durante a interação influencia diretamente o enquadramento cognitivo dos humanos, como engajamento, simpatia, percepção de inteligência e confiança [4].

É essencial enfatizar que este experimento piloto serve como um passo fundamental para obter insights sobre a interação humana com um robô móvel. Esta iniciativa estabelece a base para um experimento subsequente programado para ocorrer em uma planta de manufatura, envolvendo funcionários operando no chão de fábrica.

Inicialmente, exploramos alguns trabalhos relacionados, conforme descrito na Seção *Trabalhos Relacionados*. Em seguida, na Seção *Design do Estudo e Hipóteses*, apresentamos as hipóteses do trabalho e o planejamento do estudo. Na Seção *Metodologia*, apresentamos os recursos utilizados para a validação das hipóteses. A aquisição e organização dos dados são apresentadas na Seção *Aquisição e Organização dos Dados*. Na Seção *Análise das Hipóteses*, analisamos as hipóteses considerando todas as informações coletadas no experimento. Finalmente, antes da conclusão na Seção *Conclusão*, apresentamos na Seção *Trabalhos Futuros* o trabalho futuro planejado para esta pesquisa.

2. Trabalho relacionados

Uma pesquisa bibliográfica na base Web of Science com a string de busca "cobot and proxemic" não revelou nenhum trabalho, entretanto uma busca na mesma base com a

string "root and proxemic" resultou em 64 referências. Alguns desses trabalhos são apresentados nos próximos parágrafos.

Com o passar do tempo, os estudos sobre a proxêmica passaram a contar com o apoio de recursos tecnológicos, o que é evidenciado pela utilização de ferramentas como Realidade Virtual e Avatares [18]. Os resultados de tais estudos demonstraram sua relevância para o comportamento humano criando oportunidades para diversas formas de aplicação dos conhecimentos desse fenômeno, como por exemplo, na interação entre humanos e robôs com foco em social distance and social navigation. O artigo "How Robots Influence Humans: A Survey of Nonverbal Communication In Social Human–Robot Interaction" [21], organiza um survey agrupando pesquisas on four nonverbal communication modes: kinesics, proxemics, haptics, and chronemics. Ao focar em proxemics, os seguintes resultados merecem destaque:

- Walters et al. [24] performed long-term study de 5 semanas with the PeopleBot robot atuando em um ambiente residencial. À medida que os participantes ganharam maior experiência com o robô, a distância social foi reduzida e estabilizou na segunda semana. Nós acreditamos que em um ambiente industrial o período de redução dessa distância será menor.
- Ao considerar o modo de aproximação do robô, Papadopoulos et al. [17] concluiu que os participantes ficavam mais confortáveis com a aproximação frontal do que lateral.

Outros estudos apresentam a utilização da proxêmica relacionada à navegação segura de robôs, considerando os efeitos sociais nos ambientes em que eles atuam. Segundo Makridakis [15] os robôs se tornaram mais comuns no dia-a-dia, o que, de acordo com outros autores, passaram a exigir pesquisas para garantir que sigam as normas sociais [21].

3. Projeto de estudo e Hipóteses

O objetivo deste experimento é analisar condições de proxêmica envolvendo um operador humano e um robô industrial colaborativo (cobot). A Figura 2 mostra o robô móvel utilizado no experimento interagindo com um humano, onde podemos observar a altura do robô e sua falta de características humanóides semelhantes à estrutura usada por cobots.

O objetivo é determinar a distância de conforto humano em dois momentos, o primeiro na aproximação do robô e o segundo na realização de uma atividade de interesse mútuo.



Figura 2. Interação entre o cobot e um agente de pesquisa.

3.1 Hipóteses

As seguintes hipóteses serão consideradas neste experimento:

- **Hipótese I.** A distância de conforto do operador será menor quando o voluntário estiver envolvido em uma atividade de interesse mútuo.
- **Hipótese II.** Contato prévio do voluntário com tecnologia robótica e a distância inicial são variáveis dependentes.
- **Hipótese III.** Nível de aversão ao robô e a distância inicial são variáveis independentes.

Para validar essas hipóteses foram coletadas as seguintes informações de um grupo de sujeitos de pesquisa:

- distância de conforto de cobots se aproximando dos objetos de pesquisa sem execução de atividade.
- distância de conforto de sujeitos de pesquisa interagindo com cobots durante a execução de uma atividade conjunta.
- questionário sobre o experimento.

4. Metodologia

4.1. Especificação do experimento

Antes de participar, cada sujeito deve concordar e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, que relata o procedimento experimental ao qual foi aprovado pelo Comitê de Ética. O sujeito é então instruído a ir para a sala do experimento.

Um jogo de Blackjack é simulado durante a interação como uma motivação para a interação. É um jogo de cartas em que os jogadores recebem cartas um após o outro de um baralho, e após cada carta, podem parar de receber cartas. Cada carta tem uma pontuação de um a dez, e essas pontuações são somadas para cada jogador. O jogador

com a pontuação mais próxima de 21 vence, mas se a pontuação ultrapassar 21, o jogador perde.

A intenção de aplicar este jogo é mascarar o verdadeiro propósito do experimento para o sujeito, reduzindo a chance de viés de posicionamento, dando uma razão para a pessoa se afastar da frente do robô e se aproximar novamente, além de ser a atividade mútua chave com o robô considerada neste artigo.

O experimento ocorre através da seguinte sequência de passos:

1. O voluntário é encaminhado à sala de experimentos (Fig. 3) por um membro da equipe. A única informação que o voluntário recebe é que irá interagir com um cobot.
2. Cobot se apresenta e informa que iniciará movimento na direção do voluntário e que o movimento será interrompido por uma sinalização de parada por parte do voluntário.
3. Cobot avança na direção do voluntário até receber a sinalização de parada.
4. O sujeito sinaliza que o movimento do robô móvel deve ser interrompido. O cobot obedece ao comando e para.
5. O cobot retoma o movimento por um breve instante. O objetivo é observar a reação emocional do sujeito a uma ação inesperada do robô.
6. O cobot convida o sujeito a jogar uma variante de Blackjack com as cartas disponíveis em uma mesa lateral, informando previamente sua própria pontuação final. A trajetória do sujeito para pegar as cartas faz com que ele saia de sua zona de conforto e ele pode ou não retornar à mesma posição. Para encorajar a aproximação, o cobot solicita que a carta retirada do baralho seja apresentada à câmera montada em sua estrutura.
7. Cobot visualiza a carta e atualiza a soma dos pontos do jogo.
8. A sequência de pegar e mostrar cartas se repete até que o voluntário manifeste o desejo de parar de obter novas cartas ou obtenha uma pontuação maior ou igual a 21. Nesse ponto, o cobot revela o valor de suas cartas e informa se o sujeito venceu, perdeu ou se o jogo terminou em empate.
9. O cobot expressa gratidão e conclui o experimento. Em seguida, o sujeito é direcionado para uma sala próxima onde deve preencher um formulário de resposta.

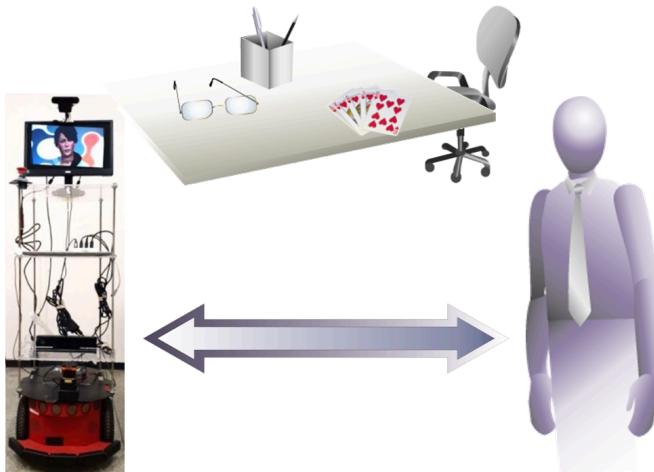


Figura 3. Sala do Experimento onde é possível observar o baralho sobre a mesa, o voluntário e o robô.

Um vídeo, borrado para preservar o voluntário, como um piloto do experimento pode ser acessado em: <https://bit.ly/3Q4nwfj> O vídeo mostra o que o controlador do robô é capaz de ver durante a interação.

4.2. Robô colaborativo móvel

O robô colaborativo móvel usado no experimento é representado na Figura 4. Este robô é baseado no robô móvel Pioneer P3-DX [1], aprimorado em nosso laboratório [3] com estrutura e subsistemas para processamento, navegação, comunicação por voz e monitoramento de vídeo.

O robô é composto por um conjunto de elementos sobrepostos em uma estrutura vertical. Na base, uma plataforma móvel chamada Pioneer P3-DX é responsável pelo movimento e serve como a fundação estrutural do robô como um todo.

No segundo andar da estrutura, está colocado um notebook de processamento que gerencia todos os componentes. Este notebook executa o ROS, que é usado como um middleware para gerenciar a interface de hardware e a transmissão de mensagens entre os nós do robô. O Sistema Operacional de Robôs (ROS) [19] é um middleware de robótica que fornece bibliotecas e ferramentas que ajudam a criar aplicações robóticas. Ele opera como uma camada sobre o sistema operacional, oferecendo serviços que permitem a operação de computadores heterogêneos, controle de dispositivos de baixo nível, passagem de mensagens entre processos e gerenciamento de pacotes.

A comunicação com outros componentes é feita por sockets. O notebook acessa a imagem e a voz do avatar usando o aplicativo NoMachine [16] para obter imagem e som diretamente do computador que o executa. O notebook também executa dois

códigos adicionais: um que permite a teleoperação do Pioneer P3-DX por outros computadores e outro que faz interface com a câmera OAK-D [14].

No terceiro andar, há um microfone para capturar as vozes das pessoas, um botão de emergência para parar completamente a plataforma se ocorrer um evento inesperado e um monitor que mostra o rosto do avatar. No topo do monitor, uma câmera OAK-D está montada; ela captura imagens estereoscópicas do ambiente e executa, de forma autônoma, uma rede profunda capaz de reconhecer vários objetos e, mais importante para este artigo, pessoas. Ao identificar pessoas nas imagens e usar a capacidade das câmeras estereoscópicas de estimar a profundidade, a distância dos participantes em relação ao robô pode ser capturada e armazenada para ser coletada como dado.

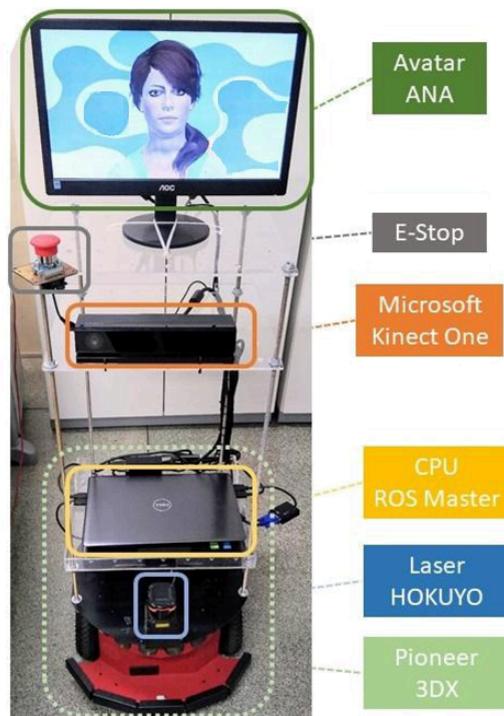


Fig. 4. Plataforma utilizada para o experimento.

O controle desta plataforma é realizado em modo teleoperado, implementando a estratégia Wizard of Oz [20], ou seja, a pessoa não está ciente de que o robô não está operando autonomamente. Um pesquisador em uma sala onde os participantes não entram recebe saída de vídeo e áudio da câmera e do microfone, enviando comandos de movimento por joystick.

A fala do robô também é comandada por essa pessoa, escolhendo entre frases pré-definidas ou digitando texto personalizado; a sentença é então enviada para um módulo de texto para fala do avatar antes que o áudio seja executado. Utilizar o próprio módulo de texto para fala do avatar também permite a integração entre o áudio e o movimento dos lábios do avatar.

Seguindo o modelo de prototipagem rápida, o conhecimento e as habilidades adquiridas a partir dos resultados alcançados no modo teleoperado permitem o refinamento dos requisitos para alcançar o modo de operação autônoma.

4.3. Subjects

No total, 12 pessoas participaram deste experimento, todos funcionários e colegas da unidade de pesquisa. Os dados demográficos são os seguintes: idade média de 33,5 anos com desvio padrão de 10,04 (ver Figura 5); 4 homens e 8 mulheres. Todos os participantes têm nível superior de educação.

4.4. Questionário

O conjunto de dados para apoiar a análise utiliza um questionário preenchido pelo sujeito ao final da interação. O questionário adere à escala Likert [13], que classifica as respostas em uma escala de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente). Após a administração dos questionários, será realizada uma análise descritiva, estabelecendo a média e o desvio padrão das respostas obtidas. Na Tabela 1, apresentamos as perguntas agrupadas em três categorias: *Experiência com robôs*, *Conforto na aproximação* e *Gentileza*.

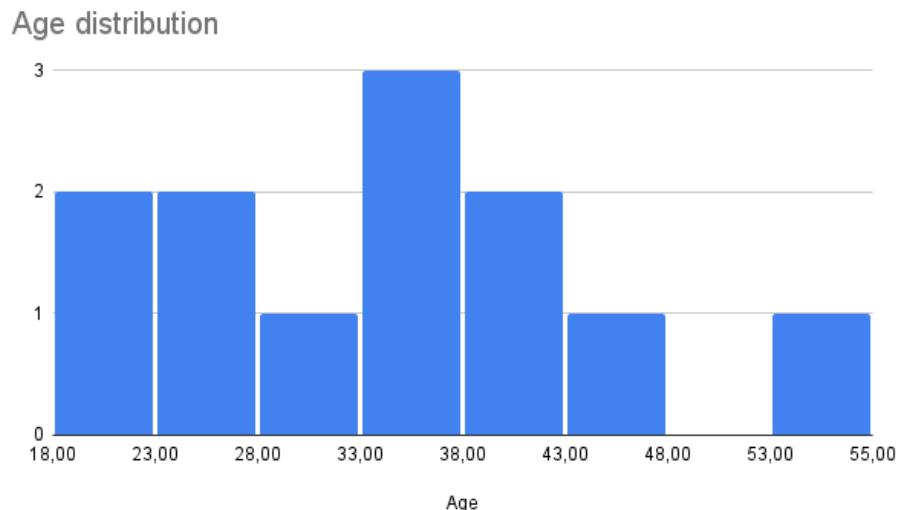


Fig. 5. Distribuição de idades dos sujeitos de pesquisa.

Tabela I. Detalhe do questionário respondido pelos participantes da pesquisa.

Categoria A: Experiência com robôs					
Q_A.1	Grau de experiência com robôs.	1 (Nenhuma) 2 3 4 5 (Muita)			
Categoria B: Conforto na Aproximação					
Q_B.1	A aproximação me deixou inseguro.	1 (Concordo) 2 3 4 5 (Discordo)			
Q_B.2	O robô se aproximou muito rapidamente.	1 (Concordo) 2 3 4 5 (Discordo)			
Q_B.3	O robô ficou muito perto de mim.	1 (Concordo) 2 3 4 5 (Discordo)			
Categoria C: Amabilidade					
Q_C.1	O robô sabe como receber as pessoas.	1 (Concordo) 2 3 4 5 (Discordo)			
Q_C.2	Gostei de interagir com o robô	1 (Concordo) 2 3 4 5 (Discordo)			
Q_C.3	Gostaria de ter um robô como aquele no dia-a-dia.	1 (Concordo) 2 3 4 5 (Discordo)			
Q_C.4	O robô é simpático.	1 (Concordo) 2 3 4 5 (Discordo)			
Q_C.5	O robô não parece ser somente uma máquina.	1 (Concordo) 2 3 4 5 (Discordo)			

Além das questões de múltipla escolha, foi oferecida ao objeto de pesquisa a possibilidade de responder textualmente a seguinte questão: “*Comentários sobre a interação (opcional)*”.

Tabela 2. Distância em cm do pedido de parada, primeira jogada e diferença entre ambos.

Subject	Stop Request	First Play	Difference
1	106,800	74,500	32,300
2	160,300	133,600	26,700
3	128,600	84,300	44,300
4	80,100	71,200	8,900
5	128,200	94,300	33,900
6	110,500	84,800	25,700
7	133,600	128,200	5,400
8	97,100	65,400	31,700
9	123,300	94,300	29,000
10	82,200	61,600	20,600
11	85,600	74,500	11,100
12	123,300	94,300	29,000
Mean	116,900	84,550	27,850
Variance	584,224	517,343	131,003
Standard deviation	24,171	22,745	11,446

5. Aquisição e Organização de dados

Esta seção apresenta os dados obtidos em dois momentos do experimento. No primeiro momento, as distâncias observadas foram extraídas da gravação de vídeo para cada sujeito e organizadas em tabelas. No segundo momento, as respostas dos questionários foram organizadas e também consolidadas em tabelas. As subseções seguintes detalham essas informações consolidadas.

5.1. Distâncias Observadas

Na Tabela 2, apresentamos as variáveis quantitativas consideradas no experimento e, para cada sujeito, exibimos a distância observada no momento do pedido de parada, na primeira jogada de cartas, e a diferença entre esses dois valores. Todas as distâncias são

medidas em centímetros. Esta figura também fornece medidas de tendência central (média) e variabilidade (variância e desvio padrão).

A Figura 6 apresenta um histograma resumindo a diferença entre a distância do pedido de parada e a distância da primeira carta. Este gráfico permite observar que, em todas as medições, a distância é reduzida entre o pedido de parada e o início do jogo de Blackjack com a apresentação da primeira carta.

5.2. Respostas do questionário

A Tabela 3 apresenta as variáveis qualitativas do experimento, juntamente com a média, variância e desvio padrão. Consistente com a Tabela 1, as perguntas são agrupadas em 3 categorias:

Experience: Esta categoria contém apenas uma pergunta para determinar se o sujeito tem experiência prévia com robôs. Conforme levantado por uma de nossas hipóteses, o contato anterior com robôs pode influenciar a distância entre o robô e o humano.

Confort: Um robô industrial móvel com uma altura de 140 cm e uma largura de 43 cm pode ser intimidador para os humanos. As perguntas nesta categoria visam identificar o grau de aversão ao robô.

Kindness: As perguntas nesta categoria visam avaliar a simpatia do robô na interação com humanos. Especificamente, a gentileza é revelada através de características como antropomorfismo, inteligência percebida e familiaridade.

Difference between distance from "request to stop" and "first play"

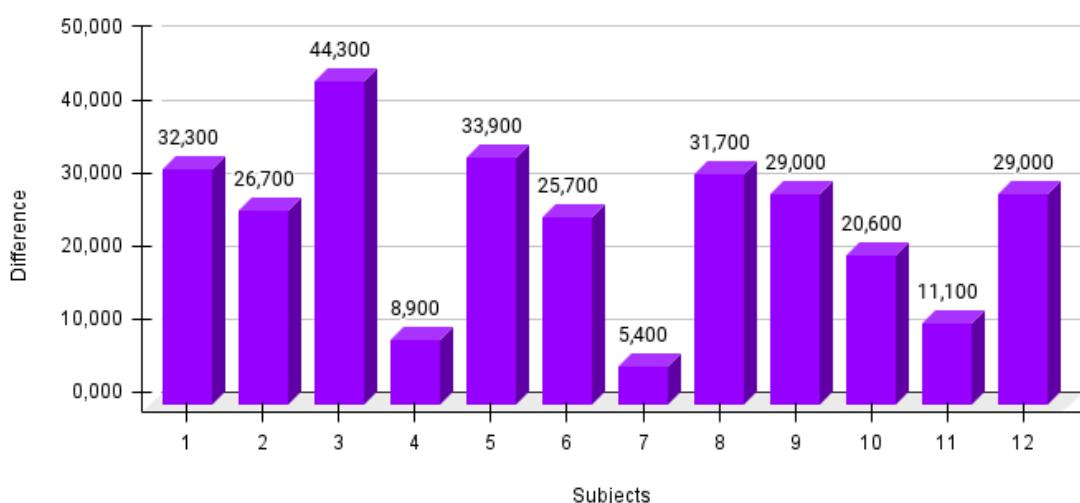


Figura 6. Distância individual entre a requisição de parada e primeira jogada.

Tabela 3. Respostas, média, variância e desvio padrão do questionário sobre o experimento.

Subject	Experienc e	Confort				Kindness				
		Q_A.1	Q_B.1	Q_B.2	Q_B.3	Q_C.1	Q_C.2	Q_C.3	Q_C.4	Q_C.5
1	1	1	1	1	4	5	4	5	4	
2	1	1	1	1	5	5	5	5	1	
3	2	3	1	1	3	5	5	5	2	
4	1	1	1	4	5	5	4	5	3	
5	1	2	1	1	5	5	4	4	4	
6	1	2	1	1	5	5	4	5	3	
7	2	1	1	1	3	4	3	4	2	
8	2	1	1	2	4	5	3	5	1	
9	1	3	1	4	5	4	5	5	3	
10	1	3	1	2	3	5	1	5	1	
11	3	4	3	5	5	4	4	5	2	
12	3	1	1	5	5	5	1	5	1	
Mean	1,583	1,917	1,167	2,333	4,333	4,750	3,583	4,833	2,250	
Variance	0,629	1,174	0,333	2,788	0,788	0,205	1,902	0,152	1,295	
Standard deviation	0,793	1,084	0,577	1,670	0,888	0,452	1,379	0,389	1,138	

Essas escalas diferenciais semânticas foram validadas calculando-se o alfa de Cronbach [6], um coeficiente de consistência interna usado para estimar a confiabilidade de um teste psicométrico. Os resultados foram 0,578 para Confort e 0,446 para Kindness. Infelizmente, esses valores classificam a categoria Confort como "Inaceitável" e a categoria Gentileza como "Fraca", invalidando seu uso na análise das hipóteses.

5.3. Interação com os sujeitos

Esta seção fornece um resumo dos principais pontos sobre a entrevista com os sujeitos imediatamente após a realização do experimento.

De maneira geral, todos se sentiram confortáveis após o experimento, mas um indivíduo mencionou "sentir um senso de insegurança quando o robô se aproximava". Esse sujeito é mais jovem que a média de idade do grupo (19 anos), novo no centro de pesquisa e sem formação tecnológica.

Dois sujeitos sugeriram que o robô deveria anunciar sua intenção antes de fazer um segundo movimento, enquanto outro sujeito lembrou que o robô parou prontamente quando solicitado. Além disso, uma pessoa comentou sobre a expressão neutra do robô, expressando uma preferência por um robô com um rosto feliz.

Dois outros sujeitos levantaram preocupações sobre o nível de som da voz do robô, sugerindo que isso pode ter dificultado a compreensão das regras do jogo. No entanto, outros dois acharam a comunicação clara e fácil de entender.

Outra observação foi que, apesar de achar a interação interessante e reconhecer as capacidades do robô, alguns participantes sentiram que a aparência do robô parecia artificial e sua maneira de falar era muito robótica.

Considerando que todos desconheciam o que esperar e que foi uma experiência nova para todos os sujeitos, durante as entrevistas, eles expressaram gratidão pela oportunidade de ajudar o grupo de pesquisa de um colega a melhorar as capacidades dos robôs na interação com humanos.

6. Análise de hipóteses

6.1. Hipótese I

A hipótese I estabelece que:

A distância de conforto do sujeito será menor quando o sujeito estiver engajado em uma atividade mutuamente interessante.

Nesse caso, comparamos as médias do pedido de parada (μ_1) e a distância na apresentação da 1^a carta (μ_2). Os resultados desse cálculo são:

- Hipótese Nula (H_0): $\mu_2 \geq \mu_1$
- Hipótese Alternativa (H_1): $\mu_2 < \mu_1$
- α será fixado em 5%

Ao realizar o teste t pareado, obtemos os seguintes resultados:

- $t = -7.5311$, $df = 11$, $p\text{-value} = 5.773e-06$
- alternative hypothesis: true mean difference is less than 0
- 95 percent confidence interval: -Inf -18.94959
- sample estimates: mean difference = -24.88333

Esses resultados estabelecem, com 95% de confiança, que a distância observada na apresentação da 1^a carta (μ_2) é menor do que a distância observada no comando de parada (μ_1), com uma redução média de 24.88333 cm. Assim, a hipótese I é confirmada.

6.2. Hipótese II

A hipótese II estabelece que:

O contato prévio do sujeito com a tecnologia robótica e a distância inicial são variáveis dependentes.

A estratégia utilizada para validar essa hipótese é através do uso de um gráfico de dispersão, um gráfico que permite visualizar a relação entre duas variáveis quantitativas. O gráfico de dispersão apresenta uma distribuição que envolve as seguintes variáveis:

Experiência: associada ao eixo X, representa uma variável categórica ordinal com valores na faixa de 1 a 5. Vale lembrar que a experiência do sujeito com robôs é extraída da resposta à pergunta Q_A.1 apresentada na Tabela 1.

Distância: associada ao eixo Y, representa uma variável quantitativa contínua. Esta variável representa a distância do robô ao receber o comando de parada, conforme mostrado na Tabela 2.

Na Figura 7, apresentamos um gráfico de dispersão que representa a distribuição da distância inicial (eixo Y) em função dos diferentes níveis de experiência do usuário (eixo X). Ao analisar essa distribuição, é possível identificar um padrão de tendência negativa, destacado na figura pela seta azul clara, onde os pontos formam uma linha descendente da esquerda para a direita, estabelecendo uma correlação negativa entre as variáveis. Esse resultado nos permite inferir que a experiência prévia representa uma das condições favoráveis para uma interação mais próxima, validando nossa hipótese.

Ainda na Figura 7, é possível observar que dois pontos não estão sob a sombra da seta de tendência negativa (outliers). Essa condição sugere uma correlação fraca onde os pontos estão mais dispersos, no entanto, ainda é possível reconhecer uma tendência geral visível. A presença dessa tendência valida a hipótese II, reforçando a ideia de que a experiência prévia do sujeito com o robô influencia diretamente a proximidade tolerada do agente robótico.

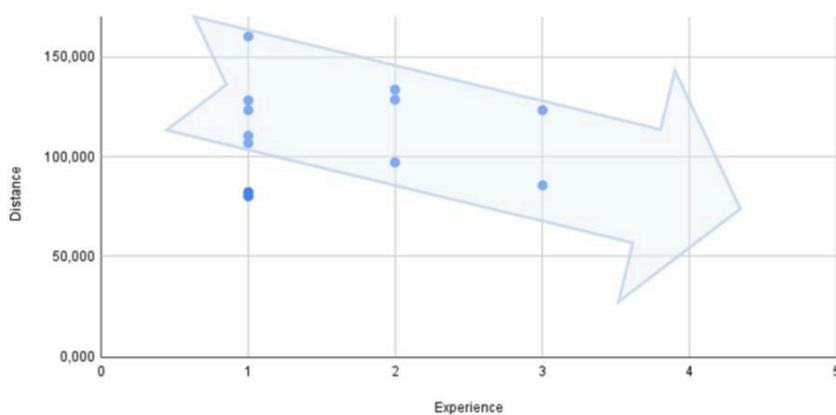


Figura 7. Relacionando o pedido de parada com a experiência anterior do subject com robôs.

6.3. Hipótese III

A hipótese III estabelece que:

O nível de aversão ao robô e a distância inicial são variáveis dependentes.

A validação dessa hipótese utilizaria a categoria Conforto para determinar o nível de aversão ao robô. O resultado "Inaceitável" para o alfa de Cronbach estabelecido para essa categoria torna seu uso inviável. Assim, infelizmente, a hipótese III não pode ser analisada.

6.4. Discussão

Impacto da Análise de Hipóteses. A validação das hipóteses I e II tem uma influência significativa no desenvolvimento e adoção de cobots em plantas industriais. A hipótese I sugere que atividades colaborativas entre humanos e robôs permitem uma aceitação mais rápida dos cobots operando dentro do espaço pessoal humano definido pela proxémica (Figura 1.1). Por outro lado, a hipótese II recomenda que a interação prévia com cobots pode acelerar a aceitação deles pelos humanos.

Limitações. As classificações "Inaceitável" e "Fraca" alcançadas pelo alfa de Cronbach para estimar a confiabilidade de um teste psicométrico indicam que a formalização das perguntas contém problemas de interpretação, sugerindo a necessidade de uma reescrita. Também vale notar que o valor do alfa de Cronbach pode ser melhorado eliminando perguntas com maiores variâncias; no entanto, o pequeno número de perguntas tornou essa estratégia inviável. Portanto, a nova versão do questionário deve também adicionar mais perguntas ao questionário do sujeito.

7. Trabalhos futuros

Os resultados alcançados neste experimento piloto motivam a equipe a aprofundar a pesquisa, definindo as seguintes linhas que orientarão nosso trabalho futuro:

Robô Humanóide. Disponível em nosso laboratório, o robô Pepper [22] tem 120 cm de altura e uma forma humanoíde, o que pode contribuir para uma melhor aceitação através de uma aparência mais amigável (ver Figura 8). A proposta é fazer uma comparação entre o robô móvel usado neste sistema e o robô Pepper para determinar até que ponto a aparência do robô influencia sua aceitação em ambientes industriais.



Figura 8. Plataforma Pepper: robô humanoide para interação social.

Reconhecimento de Emoções. O reconhecimento de emoções humanas na interação com robôs serve como um componente importante no desempenho dos agentes robóticos. Como primeiro passo, é necessário implementar um sistema para reconhecer emoções básicas, como raiva, medo, nojo, tristeza e felicidade (Ekman, 2016). Vale destacar que, dada a diversidade de algoritmos de Machine Learning para tarefas de reconhecimento de emoções, abordar corretamente nosso objetivo é mais complexo do que simplesmente escolher o algoritmo mais poderoso ou recente (Bryant, 2019). O segundo passo envolve usar o reconhecimento de emoções para modificar o curso das ações planejadas para o robô, a fim de tornar a comunicação mais fluida.

Experimento na Fábrica. O experimento realizado no ambiente de laboratório oferece uma excelente oportunidade para validar a coleta, processamento e análise de dados. Como uma melhoria, o resultado "Inaceitável" do alfa de Cronbach direciona a equipe a alterar as perguntas existentes e incluir novas perguntas em avaliações futuras. Na mesma direção, o uso de sujeitos que trabalham na unidade de pesquisa não corresponde ao espaço amostral de funcionários em uma planta industrial. Nesse contexto, a maturação do experimento e sua aplicação no chão de fábrica representam passos importantes nesta pesquisa.

8. Conclusão

Este trabalho apresenta um estudo sobre a relação proxêmica entre operadores humanos e cobots. As hipóteses de pesquisa assumem que a distância inicial entre o robô e o operador muda considerando a imersão na execução da tarefa e a familiaridade com o robô.

Para verificar essas hipóteses, foi realizado um experimento piloto controlado envolvendo um robô móvel e um grupo de 12 sujeitos em nossas instalações de laboratório. A análise de dados foi realizada com o suporte de estatísticas descritivas e inferenciais.

Os resultados do experimento validaram as hipóteses associadas à redução da distância de conforto do sujeito quando há uma atividade de interesse comum e também que a familiaridade com robôs reduz a distância inicial entre humanos e robôs. O fato de a hipótese associada ao nível de aversão ao robô não ter sido validada abre uma oportunidade para melhoria no número e na qualidade das perguntas respondidas pelos sujeitos.

Os próximos passos da pesquisa também foram apresentados, sendo o mais relevante a realização de novos experimentos no chão de fábrica, o destino final para o uso de cobots na interação com humanos.

Funding:

The author(s) disclosed receipt of the following financial support for the research, authorship, and/or publication of this article: the São Paulo Research Foundation (FAPESP) 2020/07074-3 and the PIBIC program of the the Brazilian National Research Council (CNPq) 136620/2023-0.

Acknowledgement:

This study was conducted as as part of the project "Socially Interactive Robots Acting in Public Environments" of the CTI Renato Archer, in Campinas, Brazil. We would like to thank the researchers involved in this project who kindly provided the experiment databases. In particular, PhD Josué Ramos and PhD Murillo Rehder Batista. O Prof. Fabiano Rodrigues Coelho do ICMC / USP - São Carlos também merece reconhecimento por sua contribuição na análise estatística do problema.

Ethical issues:

This study was approved by the Research Ethics Committee of the Centro Universitário UniMetrocamp - Wyden (6.190.731) and registered on the Brazil Platform [Brasil,2023] under the Certificate of Submission for Ethical Appraisal - CAAE № 71384423.4.0000.5632.

Referência

- [1] Adept. 2024. Pioneer 3-DX. <https://bit.ly/3XexCwd>. Accessed on 18 May. 2024.
- [2] Kathleen Belhassen, Guilhem Buisan, Aurélie Clodic, and Rachid Alami. 2019. Towards methodological principles for user studies in Human-Robot Interaction. In Test Methods and Metrics for Effective HRI in Collaborative Human-Robot Teams Workshop, ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. ACM/IEEE, Daegu, South Korea.
- [3] Blind Reference. 2024. This is a dummy article to attend the double blind request. It will be uncovered in the unblind version.
- [4] Dennis Chong and James N. Druckman. 2007. Framing Theory. Annual Review of Political Science 10, Volume 10, 2007 (2007), 103–126. <https://doi.org/10.1146/annurev.polisci.10.072805.103054>

- [5] David J. Feil-Seifer and Maja J. Matarić. 2009. Human-Robot Interaction. In Encyclopedia of Complexity and Systems Science, Robert A. Meyers (Ed.). Springer New York, New York, USA, 4643–4659. <http://robotics.usc.edu/publications/585/>
- [6] Joseph Gliem and Rosemary Gliem. 2003. Calculating, Interpreting, And Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient For Likert Type Scales. In 2003 Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education. Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education, Columbus, OH, USA, 82—88. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:146359317>
- [7] Michael A. Goodrich and Alan C. Schultz. 2008. Human–Robot Interaction: A Survey. Foundations and Trends in Human–Computer Interaction 1, 3 (2008), 203–275. <https://doi.org/10.1561/1100000005>
- [8] Edward T. Hall. 1963. A system for the notation of proxemic behavior. American Anthropologist 65, 5 (1963), 1003–1026. <https://doi.org/10.1525/aa.1963.65.5.02a00020>
- [9] Tanja Heuer and Jenny Stein. 2020. From HCI to HRI: About Users, Acceptance and Emotions. In Human Systems Engineering and Design II, Tareq Ahram, Waldemar Karwowski, Stefan Pickl, and Redha Taiar (Eds.). Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 149–153.
- [10] IEEE. 2015. "IEEE 1872 2015, Standard Ontologies for Robotics and Automation".
- [11] IFR Statistical Department. 2022. World Robotics 2023 – Industrial Robots, IFR Statistical Department.
- [12] Benedikt Leichtmann and Verena Nitsch. 2020. How much distance do humans keep toward robots? Literature review, meta-analysis, and theoretical considerations on personal space in human-robot interaction. Journal of Environmental Psychology 68 (2020), 101386. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101386>
- [13] R Likert. 1932. A technique for the measurement of attitudes. Archives of Psychology 22 140 (1932), 55.
- [14] Luxonis. 2024. OAK-D-Lite. <https://docs.luxonis.com/projects/hardware/en/latest/pages/DM9095/> Accessed on 31 May 2024.
- [15] Spyros Makridakis. 2017. The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. Futures 90 (2017), 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>

- [16] NoMachine. 2024. Getting started with NoMachine. <https://www.nomachine.com/getting-started-with-nomachine> Accessed on 31 May 2024.
- [17] Fotios Papadopoulos, Dennis Küster, Lee J. Corrigan, Arvid Kappas, and Ginevra Castellano. 2016. Do relative positions and proxemics affect the engagement in a Human-Robot collaborative scenario? *Interaction Studies* 17 (2016), 321–347. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:151914961>
- [18] Farid Pazhoohi, Carlos Silva, J. Lamas, Sandra Mouta, Jorge Santos, and Joana Arantes. 2019. The Effect of Height and Shoulder-to-Hip Ratio on Interpersonal Space in Virtual Environment. *Psychological Research* 83 (09 2019). <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0968-1>
- [19] Morgan Quigley, Ken Conley, Brian Gerkey, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Rob Wheeler, and Andrew Ng. 2009. ROS: an open-source Robot Operating System. In ICRA Workshop on Open Source Software, Vol. 3. IEEE, Kobe, Japan.
- [20] Laurel D. Riek. 2012. Wizard of Oz studies in HRI: a systematic review and new reporting guidelines. *Journal of Human-Robot Interaction* 1, 1 (jul 2012), 119–136. <https://doi.org/10.5898/JHRI.1.1.Riek>
- [21] Shane Saunderson and Goldie Nejat. 2019. How Robots Influence Humans: A Survey of Nonverbal Communication in Social Human–Robot Interaction. *International Journal of Social Robotics* 11 (2019), 575 – 608. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:150521093>
- [22] United Robotics Group. 2024. Pepper Overview. <https://unitedrobotics.group/en/robots/pepper>. Accessed on 18 May 2024.
- [23] Manoela Veloso. 2012. Introduction. In NSF/WTEC Panel Report on Human-Robot Interaction: Japan, South Korea, and China. WTEC, Arlington, VA, Chapter 1, 1–11. https://scienceus.org/wtec/docs/Human-Robot%20Interaction_final-5.9.12.pdf
- [24] Michael Walters, Mohammadreza Oskoei, Dag Sverre Syrdal, and Kerstin Dautenhahn. 2011. A long-term Human-Robot Proxemic study. In Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. IEEE, Atlanta, GA, USA, 137 – 142. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2011.6005274>

XXV Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer - JICC'2024
PIBIC/CNPq/CTI - Outubro de 2024 – Campinas – São Paulo