

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

RAYMUNDO MACHADO DE AZEVEDO NETO

Efeito da expectativa na reorganização das dimensões espacial e temporal em
ações interceptativas

São Paulo

2012

RAYMUNDO MACHADO DE AZEVEDO NETO

Efeito da expectativa na reorganização das dimensões espacial e temporal em ações
interceptativas

Dissertação apresentada à Escola de Educação
Física e Esporte da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Biodinâmica do
movimento humano

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira

São Paulo

2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Azevedo Neto, Raymundo Machado de
Efeito da expectativa na reorganização das dimensões
espacial e temporal em ações interceptativas/ Raymundo
Machado de Azevedo Neto. – São Paulo : [s.n.], 2012.
58p.

Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e
Esporte da Universidade de São Paulo.
Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira.

1. Controle Motor 2. Interação Visuomotora 3. Interceptação. I.
Título.

Nome: AZEVEDO NETO, Raymundo Machado

Título: Efeito da expectativa na reorganização das dimensões espacial e temporal em ações interceptativas

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira. Luis, obrigado por quase 6 anos de paciência e ensinamentos. Perturbei bastante sua paz com minhas inquietudes e descontentamentos. Você me ensinou o que é pesquisa, e como buscar os maiores padrões científicos para o meu futuro na carreira acadêmica. Obrigado por me ajudar a me tornar a pessoa crítica que sou hoje. Obrigado por ouvir alguns dos meus desabafos e deixar eu falar pelos cotovelos durante as reuniões de laboratório.

Agradeço aos meus pais, Rosa e Raymundo, pela compreensão e apoio a um filho que decidiu “só” estudar. Em especial à minha mãe pela comida maravilhosa, grande responsável por meu desempenho acadêmico. Obrigado aos meus irmãos, Fernando e Ana, pelo apoio ao longo do mestrado, e por me ouvirem quando precisava, mesmo que o assunto fosse tão chato para vocês.

Agradeço à minha maravilhosa namorada, Cindy, por tudo. Simplesmente tudo. Me escutou, me apoiou, me consolou, me questionou, me deu carinho nos momentos em que mais precisei ao longo deste mestrado. Obrigado por compreender que eu precisava ficar em casa escrevendo mesmo durante as suas férias. Desculpa não ter podido aproveitar tanto o seu momento de descanso.

Agradeço aos colegas de laboratório pelos momentos científicos e não-científicos. Todos os colegas desde que ingressei no laboratório foram essenciais para minha formação: Ana Paula, Andréa, Carla, Babo, Elke, Leandro, Juliana, João, Livia, Marina, Natalia, Rosana, Tatiana e Victor. Em especial, gostaria de agradecer ao Daniel, especialista e super herói de laboratório, que se tornou um grande amigo em tão pouco tempo de convivência.

Agradeço aos professores doutores Paulo de Freitas Júnior e Sérgio Tosi Rodrigues pelos comentários e sugestões feitos no exame de qualificação e que foram incorporados ao projeto que culminou neste estudo.

Por fim, agradeço à FAPESP pela verba concedida ao meu projeto de pesquisa, possibilitando a compra de equipamentos necessários à sua realização, e à CAPES, pela bolsa de estudos oferecida durante o período do mestrado.

Antes mesmo de saber que existe, o uso
Apesar de usá-lo sempre, não sei como o faço
Sua complexidade me permite criar, pensar
E ainda é parte do método para o desbravar

Raymundo Neto

RESUMO

AZEVEDO NETO, R. M. **Efeito da expectativa na reorganização das dimensões espacial e temporal em ações interceptativas**. 2012. 58f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da expectativa na reorganização de aspectos espaciais e temporais em ações interceptativas. O estudo foi conduzido em dois experimentos, nos quais os participantes interceptaram manualmente um alvo móvel virtual em situações com diferentes probabilidades de mudança de trajetória/velocidade de deslocamento do alvo. Em ambos os experimentos foi realizada a comparação entre um grupo que recebeu informação verbal sobre a probabilidade de mudança de trajetória/velocidade (PR), e outro que não recebeu informação (SI) sobre as características probabilísticas da tarefa. Os resultados do experimento com mudança de trajetória indicaram que, além da reorganização na dimensão espacial ocorrer de maneira gradativa, as ações interceptativas parecem ter sido controladas por um mecanismo preditivo que é atualizado ao longo do tempo por informação visual. Em ambos os experimentos foi mostrado que a probabilidade do contexto influenciou as características espaciais e temporais da reorganização do movimento. Contudo, essa influência ocorreu somente no fim de uma série de tentativas. Este resultado, em conjunto com a ausência de diferença em aspectos cinemáticos e de desempenho entre os grupos experimentais, sugere que a expectativa de deslocamento futuro do alvo foi criada em função das tentativas iniciais de uma série e não pela informação verbal.

Palavras chave: Controle Motor, Integração Visuomotora, Interceptação

ABSTRACT

AZEVEDO NETO, R. M. Effect of expectancy on reorganization of the spatial and temporal dimensions in interceptive actions. 2012. 58f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The aim of the present study was to evaluate the effect of expectancy on reorganization of spatial and temporal dimensions in interceptive actions. The study was conducted through two experiments in which participants were to manually intercept a virtual moving target with different probabilities of target trajectory/velocity shift. Comparison between a group that received verbal information concerning probability of target trajectory/velocity shift (PR), and another group that did not receive that information (SI) was made in both experiments. Results of the experiment on target trajectory shift showed that, in addition to gradual movement reorganization in the spatial dimension, interceptive actions were controlled by a predictive mechanism which seemed to be continuously updated by visual information. Of main interest, it was shown that in both experiments probability of target trajectory/velocity change influenced the spatial and temporal characteristics of movement reorganization. However, this influence occurred only at the end of a series of trials. The same effect was observed in the experiment on target velocity shift. This result, adjoined with the absence of difference in kinematic and performance aspects between experimental groups, suggests that expectancy about future target displacement was created by the initial trials of a series and not by verbal information on probability of target trajectory/velocity shift.

Keywords: Motor Control, Visuomotor Integration, Interception

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática da mudança de trajetória do alvo.....	31
Figura 2 – Representação esquemática para cálculo do desvio angular atual (a) e final (b) para a posição do cursor 50 ms após o início da correção do movimento. Deslocamento do alvo representado pela linha preta contínua. Deslocamento do cursor representado pela linha cinza. Posição final do alvo na linha de interceptação representada pelo círculo branco. Posição do cursor no início da correção do movimento representa pelo círculo cinza. Posição do cursor após 50 ms do início da correção do movimento representada pelo círculo preto.....	33
Figura 3 – Latência para correção do movimento dos grupos PR e SI, nas condições P20, P50, P80 e P100, no início e no fim dos blocos de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.....	35
Figura 4 – Desvio angular atual dos grupos PR e SI, nas condições P20, P50, P80 e P100, no início e fim do bloco de tentativas, entre 50 e 200 ms do início da correção do movimento. Erro padrão indicado pelas barras verticais.....	36
Figura 5 – Desvio angular final dos grupos PR e SI, nas condições P20, P50, P80 e P100, no início e fim dos blocos de tentativas, entre 50 e 200 ms do início da correção do movimento. Erro padrão indicado pelas barras verticais.....	37
Figura 6 – Representação esquemática das situações de velocidade constante e reduzida.....	43
Figura 7 – Erro constante temporal para os grupos PR e SI, nas condições experimentais P20, P50, P80 e P100, nas situações de velocidade constante e reduzida, no início e fim do bloco de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.....	46
Figura 8 – Erro absoluto temporal para os grupos PR e SI, nas condições experimentais P20, P50, P80 e P100, nas situações de velocidade constante e reduzida, no início e fim do bloco de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais	47
Figura 9 – Tempo de iniciação para os grupos PR e SI, nas condições experimentais P20, P50, P80 e P100, nas situações de velocidade constante e reduzida, no início e fim do bloco de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.....	48
Figura 10 – Tempo de movimento para os grupos PR e SI, nas condições experimentais P20, P50, P80 e P100, nas situações de velocidade constante e reduzida, no início e fim do bloco de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Frequência absoluta de tentativas em que o alvo manteve a trajetória retilínea e naquelas em que a trajetória foi modificada para cima em cada condição experimental.....	31
Tabela 2 –	Erro vertical (cm) dos grupos PR e SI, nas condições P20, P50, P80 e P100, nas situações de trajetória retilínea e para cima, no início e fim do bloco de tentativas. Média (erro padrão).....	38
Tabela 3 –	Frequência absoluta de tentativas em que o alvo manteve velocidade constante e naquelas em que a velocidade foi reduzida em cada condição experimental.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	Ações interceptativas e atraso visuomotor.....	16
2.2	Reorganização em ações interceptativas.....	16
2.3	Diferença no processamento de informação espacial e temporal.....	18
2.3.1	Vias de processamento visual.....	18
2.3.2	Processamento de informação espacial.....	19
2.3.3	Processamento de informação temporal.....	20
2.4	Modelos internos preditivos.....	20
2.5	Efeito da expectativa.....	22
3	OBJETIVOS	24
4	JUSTIFICATIVA.....	25
5	HIPÓTESES	26
6	MÉTODO	27
6.1	Participantes	27
6.2	Aparelho e tarefa.....	27
7	EXPERIMENTOS.....	29
7.1	Experimento 1: reorganização espacial.....	29
7.1.1	Objetivo.....	29
7.1.2	Participantes.....	29
7.1.3	Delineamento experimental e procedimentos.....	29
7.1.4	Análise dos dados.....	31
7.1.4.1	Variáveis dependentes.....	32
7.1.5	Resultados.....	33
7.1.6	Discussão.....	38
7.2	Experimento 2: reorganização temporal.....	41
7.2.1	Objetivo.....	41
7.2.2	Participantes.....	42
7.2.3	Delineamento experimental e procedimentos.....	42
7.2.4	Análise dos dados.....	43
7.2.4.1	Variáveis dependentes.....	44

7.2.5	Resultados.....	44
7.2.6	Discussão.....	49
8	CONCLUSÃO GERAL	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Ações interceptativas direcionadas a alvos móveis rápidos requerem uma precisão temporal de poucos milissegundos, e espacial de poucos milímetros, para que o objetivo da tarefa seja cumprido satisfatoriamente (LAND; MCLEOD, 2000; REGAN, 1992). O desempenho sob tais restrições temporais e espaciais representa uma dificuldade para explicar o controle de ações interceptativas baseado exclusivamente no fluxo de informação visual proveniente do movimento do alvo, pois haveria um atraso considerável entre o tempo em que um evento acontece e o respectivo momento em que o movimento é realizado. A menos que o sistema nervoso tivesse mecanismos para compensar o atraso visuomotor, a ação interceptativa seria realizada com base em uma informação visual obsoleta, e como consequência o indivíduo não obteria êxito na ação (NIJHAWAN; KIRSCHFELD, 2003).

Uma série de estudos exigindo a reorganização do movimento interceptativo direcionado a alvos rápidos indicam que esse atraso visuomotor é da ordem de 100-300 ms (BOCK; JUNGLING, 1999; BOULINGUEZ; NOUGIER, 1999; BRENNER; SMEETS, 1997; BRENNER; SMEETS; DE LUSSANET, 1998; CARNAHAN; MARTENIUK, 1994; CASTIELLO; PAULIGNAN; JEANNEROD, 1991; DAY; LYON, 2000; ENGEL; SOECHTING, 2000; GEORGOPOULOS; KALASKA; MASSEY, 1981; LE RUNIGO; BENGUIGUI; BARDY, 2005; SAUNDERS; KNILL, 2005). Contudo, a natureza da tarefa tem-se mostrado um fator crucial para a determinação da latência para início de correções do movimento. Enquanto que em tarefas com deslocamentos inesperados de alvos estáticos o atraso visuomotor é cerca de 100 ms (BOCK; JUNGLING, 1999; BOULINGUEZ; NOUGIER, 1999; BRENNER; SMEETS, 1997; CARNAHAN; MARTENIUK, 1994; CASTIELLO; PAULIGNAN; JEANNEROD, 1991; VAN SONDEREN; GIELEN; DENIER VAN DER GON, 1989), em tarefas nas quais o alvo se move ao longo do tempo e tem sua velocidade alterada o atraso visuomotor para reorganização do movimento é da ordem de 200-300 ms (BRENNER; SMEETS; DE LUSSANET, 1998; ENGEL; SOECHTING, 2000; LE RUNIGO; BENGUIGUI; BARDY, 2005; TEIXEIRA, et al., 2006a; TEIXEIRA; FRANZONI; DA SILVA, 2006). Esta diferença pode ser explicada se concebermos o processamento de informação espacial sendo distinto do processamento de informação temporal. Neste sentido, Smeets e colegas (BRENNER; SMEETS, 1997; BROUWER; BRENNER; SMEETS, 2000, 2002a; BROUWER, et al., 2003; SMEETS; BRENNER, 1995) têm proposto que a trajetória e a velocidade do movimento interceptativo são determinados de forma independente. Enquanto que a trajetória da mão é ajustada com base na informação visual da mudança de posição do alvo, a velocidade do movimento depende de uma estimativa da velocidade do alvo baseada em tentativas prévias (DE LUSSANET; SMEETS; BRENNER, 2001, 2002, 2004). Por esta perspectiva, a informação proveniente de aspectos espaciais do movimento do alvo levaria menos tempo para ser processada, possibilitando

ajustes mais rápidos do movimento em curso (DESMURGET, et al., 1999; JAMES, et al., 2003). Por outro lado, o processamento da informação sobre a velocidade do alvo dependeria de um modelo interno preditivo sobre a posição futura do alvo, baseado em informação prévia sobre as características de deslocamento do alvo (DE LUSSANET; SMEETS; BRENNER, 2001, 2002; GRAY, 2002a, b), e atualizado ao longo do tempo pela posição percebida do alvo (ZAGO, et al., 2008).

Fortalecendo a perspectiva de que o processamento de informação de um alvo em movimento depende de um modelo interno preditivo, Zago e colegas (INDOVINA, et al., 2005; MCINTYRE, et al., 2001; SENOT; PREVOST; MCINTYRE, 2003; ZAGO, et al., 2004, 2005; ZAGO; LACQUANITI, 2005) têm mostrado consistentemente que ao rebater um alvo em queda livre um indivíduo não leva em consideração somente a informação visual sobre o movimento do alvo, mas também o efeito esperado da força da gravidade, que pode causar aceleração ou desaceleração no seu deslocamento. De fato, como o sistema visual tem-se mostrado ineficiente em utilizar informação sobre a aceleração do alvo (BROUWER; BRENNER; SMEETS, 2002b), um indivíduo organiza suas ações com base na expectativa de que o alvo acelerará, devido à sua exposição aos efeitos da força da gravidade ao longo da vida. Tal expectativa tem mostrado exercer um efeito notável sobre o controle motor, levando à noção de que ações interceptativas são controladas com base em um modelo interno preditivo sobre o deslocamento futuro do alvo, ao invés de estar baseado em informação visual pura. Esse modelo representa internamente a dinâmica do movimento de um objeto no ambiente, o que possibilita que o movimento seja realizado na ausência de informação visual em situações com alta restrição temporal. A proposta de um modelo interno preditivo não exclui a possibilidade do uso de informação visual durante o curso do movimento e nem assume uma predição perfeita da posição e tempo de chegada futuro do alvo, mas sim que o movimento é organizado em função do modelo interno e atualizado ao longo do tempo pela informação visual do alvo móvel extraída em tempo real (DESMURGET et al., 1999; WOLPERT; FLANAGAN, 2001; ZAGO et al., 2008).

Teixeira e colegas (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009; TEIXEIRA et al., 2006a; TEIXEIRA, et al., 2006b) têm verificado de forma mais direta o efeito da expectativa sobre o padrão de deslocamento futuro de um alvo móvel, informando aos participantes a probabilidade de mudança da velocidade do alvo e avaliando o controle de ações interceptativas em situações em que a velocidade do alvo realmente mudava e em situações em que sua velocidade inicial era mantida constante. Os resultados sob este paradigma têm mostrado que a reorganização em tarefas interceptativas depende da probabilidade de mudança da velocidade. Por exemplo, de Azevedo Neto e Teixeira (2009) realizaram um estudo em condições nas quais o alvo tinha 0%, 25%, 50%, 75% ou 100% de chance de ter sua velocidade reduzida instantaneamente. Os resultados mostraram que nas tentativas em que a velocidade do alvo realmente mudava, quanto maior a probabilidade de mudança da velocidade, mais acurados eram os movimentos interceptativos. O padrão oposto foi observado quando a velocidade do alvo era

mantida constante, com movimentos mais acurados sendo observados sob baixa probabilidade de mudança de velocidade. Assim, os desempenhos sob velocidade constante e reduzida mostraram-se complementares: o desempenho na velocidade reduzida foi pior do que na velocidade constante quando havia 25% de chance do alvo mudar sua velocidade, enquanto que na condição de 75% de probabilidade de redução na velocidade a relação inversa foi observada. O desempenho entre as velocidades constante e reduzida foi semelhante na condição de 50% de probabilidade de mudança da velocidade. A explicação para estes resultados foi baseada na noção de que esse aumento de acurácia temporal proporcional ao aumento da probabilidade de redução de velocidade é causado pela atribuição de pesos, baseados na expectativa de mudança de velocidade do alvo, ao modelo interno preditivo. Foi conceitualizado que um peso maior é atribuído à integração visuomotora ao evento com maior probabilidade de ocorrência. Neste caso, a organização do movimento seria guiada por esses pesos, levando a uma interceptação mais acurada para o evento cujas consequências são preditas por esse modelo interno. Foi assumido que o conhecimento declarativo da probabilidade de mudança de velocidade do alvo foi responsável por criar a expectativa em cada condição experimental. Contudo, este aspecto não está claramente evidenciado. Outra possibilidade igualmente possível é a de que os participantes desenvolvem essa expectativa ao longo do bloco de tentativas de acordo com sua exposição às situações experimentais vivenciadas em cada bloco de tentativas. Em linha com a primeira hipótese favorecendo a influência do conhecimento declarativo, seria esperado que indivíduos que recebem informação no início dos blocos apresentassem comportamento diferenciado logo no início do bloco de tentativas em relação a um grupo que não recebe informação prévia. Por outro lado, de acordo com a hipótese concorrente, de que os participantes desenvolvem a expectativa ao longo das tentativas, não deveria haver efeito de informação prévia a respeito da probabilidade de mudança do padrão do deslocamento do alvo móvel.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ações interceptativas e atraso visuomotor

Ações interceptativas direcionadas a alvos móveis rápidos requerem uma precisão temporal de poucos milissegundos, e espacial de poucos milímetros, para que o objetivo da tarefa seja cumprido satisfatoriamente (LAND; MCLEOD, 2000; REGAN, 1992). O desempenho sob tais restrições temporais e espaciais representam uma dificuldade para explicar o controle de ações interceptativas baseado exclusivamente no fluxo de informação visual proveniente do movimento do alvo, pois haveria um atraso considerável entre o tempo em que um evento acontece e o respectivo momento em que o movimento é realizado. Esse período, conhecido como atraso visuomotor (cf. SMEETS; BRENNER; DE LUSSANET, 1998), compreende o tempo requerido para que os neurônios do córtex visual primário respondam à estimulação na retina (cf. SCHMOLESKY, et al., 1998), transformação da informação visual nas vias corticais de processamento (cf. MILNER; GOODALE, 1995), produção de comandos motores centrais (cf. VAN SONDEREN; GIELEN; DENIER VAN DER GON, 1989) e ativação do sistema muscular. A menos que o sistema nervoso tivesse mecanismos para compensar o atraso visuomotor, a ação interceptativa seria realizada com base em uma informação visual obsoleta, e como consequência o indivíduo não obteria êxito na ação (NIJHAWAN; KIRSCHFELD, 2003).

2.2 Reorganização em ações interceptativas

No esporte ou no cotidiano, indivíduos são normalmente expostos a situações em que um objeto deve ser interceptado após ter suas características de deslocamento alteradas por fatores externos. Isso requer modificação de um ou mais parâmetros da organização original do movimento, em consonância com as novas condições impostas pelo ambiente (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009, 2011; TEIXEIRA et al., 2006a; TEIXEIRA; FRANZONI, 2005; TEIXEIRA; LIMA ; FRANZONI, 2005; ZAGO, et al., 2009). Nessas situações, uma modificação das especificações atuais do movimento em curso é implementada por aquilo que é chamado de reorganização do movimento.

Uma das principais formas de avaliar as características da reorganização do movimento tem sido a utilização de paradigmas em que as características espaciais e/ou temporais do alvo são modificadas. Sob esses paradigmas, tem sido encontrado que o atraso para iniciar a correção do movimento varia

entre 100-300 ms (BOCK; JUNGLING, 1999; BOULINGUEZ; NOUGIER, 1999; BRENNER; SMEETS, 1997; BRENNER; SMEETS; DE LUSSANET, 1998; CARNAHAN; MARTENIUK, 1994; CASTIELLO; PAULIGNAN; JEANNEROD, 1991; DAY; LYON, 2000; ENGEL; SOECHTING, 2000; GEORGOPOULOS; KALASKA; MASSEY, 1981; LE RUNIGO; BENGUIGUI; BARDY, 2005; SAUNDERS; KNILL, 2005). Teixeira e colegas (TEIXEIRA et al., 2006a; TEIXEIRA; LIMA; FRANZONI, 2005) mostraram que após o início da correção do movimento a reorganização temporal ocorre por meio de um processo contínuo, em que maior tempo disponível possibilita a correção plena do movimento. Neste caso, fatores como inércia e magnitude da perturbação podem interferir na quantidade de tempo necessária para conseguir reorganizar a ação completamente, e que a precisão temporal da reorganização do movimento melhora quando há maior tempo de visão do alvo (MASON; CARNAHAN, 1999).

Em uma avaliação mais detalhada da literatura, verificamos que a natureza da tarefa tem-se mostrado um fator crucial para a determinação da latência para início de correções do movimento. Enquanto que em tarefas com deslocamentos inesperados de alvos estáticos o atraso visuomotor é cerca de 100 ms (BOCK; JUNGLING, 1999; BOULINGUEZ; NOUGIER, 1999; BRENNER; SMEETS, 1997; CARNAHAN; MARTENIUK, 1994; CASTIELLO; PAULIGNAN; JEANNEROD, 1991; VAN SONDEREN; GIELEN; DENIER VAN DER GON, 1989). Em tarefas nas quais o alvo se move ao longo do tempo e tem sua velocidade alterada, o atraso visuomotor para reorganização do movimento é da ordem de 200-300 ms (BRENNER; SMEETS; DE LUSSANET, 1998; ENGEL; SOECHTING, 2000; LE RUNIGO; BENGUIGUI; BARDY, 2005; TEIXEIRA et al., 2006a; TEIXEIRA; FRANZONI; DA SILVA, 2006). Esta diferença pode ser explicada se concebermos o processamento de informação espacial sendo distinto do processamento de informação temporal. Neste sentido, Smeets e colegas (BRENNER; SMEETS, 1997; BROUWER; BRENNER; SMEETS, 2000, 2002a; BROUWER et al., 2003; SMEETS; BRENNER, 1995) têm proposto que a trajetória e a velocidade do movimento interceptativo são determinados de forma independente. Enquanto que a trajetória da mão é ajustada com base na informação visual da mudança de posição do alvo, a velocidade do movimento depende de uma estimativa da velocidade do alvo baseada em tentativas prévias (DE LUSSANET; SMEETS; BRENNER, 2001, 2002, 2004). Por esta perspectiva, a informação proveniente de aspectos espaciais do movimento do alvo levaria menos tempo para ser processada, e possibilitando ajustes mais rápidos do movimento em curso (DESMURGET et al., 1999; JAMES et al., 2003). Por outro lado, o processamento da informação sobre a velocidade do alvo dependeria de um modelo interno preditivo sobre a posição futura do alvo, baseado em informação prévia sobre as características de deslocamento do alvo (DE LUSSANET; SMEETS; BRENNER, 2001, 2002; GRAY, 2002a, b), e atualizado ao longo do tempo pela posição percebida do alvo (ZAGO et al., 2008).

2.3 Diferença no processamento de informação espacial e temporal

Para compreender a diferença entre o processamento de informação espacial e temporal, primeiro se faz necessário explicar as diferentes vias de processamento no córtex cerebral.

2.3.1 Vias de processamento visual

Goodale e Milner (1992) propuseram a existência de duas vias principais de processamento visual: as vias dorsal e ventral. A via visual dorsal, que compreende as projeções do córtex visual primário para o córtex parietal posterior, seria responsável pela ação. Por sua vez, a via visual ventral, que compreende as projeções do córtex motor primário para o córtex temporal inferior, seria responsável pela percepção consciente (ver também, MILNER; GOODALE, 2008). De maneira mais detalhada, a proposta sugere que a via dorsal é responsável por realizar transformações visuomotoras em ações visualmente guiadas direcionadas a objetos. Já via ventral, é responsável pela identificação de informações relevantes de objetos como forma e cor, reconhecimento facial, ou seja, está relacionada à percepção consciente e de significados.

Esta proposição da existência de dois sistemas visuais distintos deu início a uma série de estudos com pacientes com lesões no córtex parietal posterior e temporal inferior, avaliando as disfunções causadas por cada uma dessas regiões do córtex cerebral (BROWN; HALPERT; GOODALE, 2005; MILNER; GOODALE, 2008; PISELLA, et al., 2000; ROSSETTI; PISELLA; VIGHETTO, 2003). Pacientes com lesão no córtex parietal posterior apresentaram uma deficiência conhecida com ataxia ótica, em que apesar de os pacientes serem capazes de perceber o ambiente à sua volta, realizam movimentos visualmente guiados de maneira muito irregular, com dificuldade de agarrar adequadamente objetos. Por sua vez, pacientes com lesões no córtex temporal inferior foram caracterizados por não conseguir descrever os objetos à sua volta. Porém, quando requisitado que alcançassem esses objetos, eles apresentavam o mesmo desempenho de indivíduos saudáveis.

2.3.2 Processamento de informação espacial

Uma série de estudos têm mostrado que correções indicando a presença de um mecanismo que tem sido chamado de o “piloto automático” da mão (DESMURGET et al., 1999; PISELLA et al., 2000). Nestes estudos, afirma-se que o controle visuomotor imediato é mediado por um mecanismo que passa pelo lobo parietal superior e se projeta diretamente para o córtex pré-motor dorsal, e que este mecanismo é responsável por engajar correções do movimento de forma involuntária, e, em alguns casos, sem se tornar consciente (GOODALE; PELISSON; PRABLANC, 1986; PISELLA, et al., 2006; PISELLA et al., 2000; ROSSETTI; PISELLA; VIGHETTO, 2003). Contudo, as tarefas realizadas neste estudo compreendem somente o paradigma de duplo salto, em que um alvo estático desaparece de sua posição inicial e reaparece em uma posição próxima à que estava anteriormente. Neste tipo de tarefa, o indivíduo limita-se a utilizar somente informação espacial para guiar o movimento de apontar. Dessa forma, torna-se evidente que estas correções rápidas somente são possíveis na dimensão espacial da ação.

A proposição sobre o “piloto automático” da mão era de que essas correções involuntárias não poderiam ser afetadas por mecanismos de ordem superior. Contudo, estudos recentes têm mostrado o contrário (CAMERON et al., 2009a, b; MCINTOSH; MULROUE; BROCKMOLE, 2010; STRIEMER; YUKOVSKY; GOODALE, 2010). Por exemplo, Cameron et al. (2009) realizou um experimento em que os participantes realizaram uma tarefa sob paradigma de duplo salto em três condições experimentais: VAI, em que o participante tinha que corrigir o movimento; IGNORAR, em que o participante tinha que ignorar a correção do movimento e seguir a trajetória inicialmente planejada para o primeiro alvo; e para, em que o participante deveria parar o movimento caso percebe-se a mudança de posição do alvo. Foi observada uma redução de respostas à mudança de posição do alvo na condição IGNORAR em comparação às duas outras condições. Este resultado mostra que a intenção de ignorar a mudança de posição foi capaz de desengajar a correção anteriormente dita como automática, apesar dessas correções automáticas terem acontecido em algumas tentativas. Os autores atribuíram essa modulação do “piloto automático” a circuitos corticais que se projetam de áreas frontais superiores ao córtex parietal posterior (HOPFINGER; BUONOCORE; MANGUN, 2000), e que essa influência de níveis superiores é responsável por suprimir informações visuais específicas ao sistema motor.

2.3.3 Processamento de informação temporal

Os estudos envolvendo reorganização temporal do movimento interceptativo têm mostrado que o tempo para início da correção do movimento é cerca de 200-300 ms (BRENNER; SMEETS; DE LUSSANET, 1998; ENGEL; SOECHTING, 2000; LE RUNIGO; BENGUIGUI; BARDY, 2005; TEIXEIRA et al., 2006a; TEIXEIRA; FRANZONI; DA SILVA, 2006). A partir da diferença no atraso visuomotor encontrado nos estudos com apenas modificação espacial do alvo, fica claro que a informação sobre a velocidade do alvo não é processada pelo mesmo mecanismo apresentado acima para informação espacial. Em estudo realizado por de Lussanet, Smeets e Brenner (2001), os participantes tiveram que interceptar alvos móveis em três velocidades. Ao analisar o perfil cinemático do movimento, foi verificado que os participantes não ajustaram a velocidade do movimento com a velocidade do alvo da tentativa em curso, mas apresentaram um perfil cinemático condizente com a tentativa anterior (ver também, BROUWER; BRENNER; SMEETS, 2000). Para tentar explicar este mecanismo indireto de processamento de informação temporal para controlar ações interceptativas tem-se utilizado o conceito de modelo interno preditivo.

2.4 Modelos internos preditivos

Fortalecendo a perspectiva de que o processamento de informação de um alvo em movimento depende de um modelo interno preditivo, Zago e colegas (INDOVINA et al., 2005; MCINTYRE et al., 2001; SENOT; PREVOST; MCINTYRE, 2003; ZAGO et al., 2004, 2005; ZAGO; LACQUANITI, 2005) têm mostrado que ao rebater um alvo em queda livre um indivíduo não leva em consideração somente a informação visual sobre o movimento do alvo, mas também o efeito esperado da força da gravidade, que pode causar aceleração ou desaceleração no seu deslocamento. Por exemplo, Zago et al. (2004) encontraram resultados consistentes com essa hipótese em um estudo no qual os participantes deveriam interceptar uma bola virtual projetada em uma tela tanto caindo sob as leis da gravidade como com velocidade constante. Quando a bola se deslocava com aceleração constante, os participantes obtinham sucesso na maioria das tentativas. Por outro lado, quando a bola caía com velocidade constante os participantes tendiam a adiantar seus movimentos, como se a bola ainda estivesse sob a aceleração da gravidade. Dessa forma, apesar de a bola estar visível ao longo de sua trajetória, ela era interceptada precocemente nas tentativas com velocidade constante. Os autores atribuíram este resultado à noção de que os participantes estariam utilizando um modelo da lei da gravidade internalizado ao

longo da vida. Outro resultado que corrobora esse achado é o de que mesmo em uma situação de microgravidade (0g), astronautas antecipavam o movimento de agarrar um objeto lançado sobre eles, indicando que os mesmos geravam o movimento baseado na presença da força gravitacional sobre o objeto, ainda que a informação visual sobre o deslocamento do objeto não tivesse tal força (LACQUANITI; MAIOLI, 1989; MCINTYRE et al., 2001). De fato, como o sistema visual tem-se mostrado ineficiente em utilizar informação sobre a aceleração do alvo (BROUWER; BRENNER; SMEETS, 2002b), um indivíduo organiza suas ações com base na expectativa de que o alvo acelerará, devido à sua exposição aos efeitos da força da gravidade ao longo da vida. Tal expectativa tem mostrado exercer um efeito notável sobre o controle motor, levando à noção de que ações interceptativas são controladas com base em um modelo interno preditivo sobre o deslocamento futuro do alvo, ao invés de estar baseado em informação visual pura. Esse modelo representa internamente a dinâmica do movimento de um objeto no ambiente, o que possibilita que o movimento seja realizado na ausência de informação visual em situações com alta restrição temporal. A proposta de um modelo interno preditivo não exclui a possibilidade do uso de informação visual durante o curso do movimento e nem assume uma predição perfeita da posição e tempo de chegada futuro do alvo, mas sim que o movimento é organizado em função do modelo interno e atualizado ao longo do tempo pela informação visual do alvo móvel extraída em tempo real (DESMURGET et al., 1999; WOLPERT; FLANAGAN, 2001; ZAGO et al., 2008).

Uma diferença da noção de modelos internos utilizada no presente estudo e a utilizada por Wolpert e colegas (WOLPERT; FLANAGAN, 2001; WOLPERT; GHARAMANI, 2000; WOLPERT; GHARAMANI; JORDAN, 1995) é a natureza do objeto a ser predito. Na proposição original, modelos internos são utilizados para prever as consequências sensoriais do movimento do próprio indivíduo, para então utilizar essa predição como modelo de comparação com o feedback proveniente da periferia. No presente estudo, o conceito de modelo interno preditivo é utilizado para descrever como o sistema visuomotor é capaz de prever o deslocamento futuro de objetos no ambiente (ZAGO et al., 2009).

A informação visual por si só não permite a captação de informações sobre aceleração do alvo (BROUWER; BRENNER; SMEETS, 2002b; PORT, et al., 1997). Seguindo esta linha teórica, pode-se abrir a discussão de que a formação de modelos internos pode ocorrer para outras variáveis além da força gravitacional, tais como forças envolvidas em lançamentos de bola com efeitos rotacionais, entre outros. Por essa interpretação, as informações óticas necessárias para interceptar um objeto passariam na maior parte das vezes por mecanismos centrais que transformariam e adicionariam outros fatores necessários para disparar um movimento preciso. Um fator que tem mostrado influenciar a formação desse modelo interno e o desempenho da ação interceptativa é o efeito da incerteza (TEIXEIRA et al., 2006a; TEIXEIRA; FRANZONI, 2005). Os resultados de um experimento realizado por Gray (2002a)

utilizando uma simulação de rebatida no beisebol, mostrou que a precisão espacial e temporal na tarefa interceptativa foram empobrecidas em situações nas quais havia maior variabilidade na velocidade em um bloco de arremessos. Isto é, em situações com alta incerteza sobre as características de deslocamento do alvo. Na mesma linha de evidências do uso de modelos internos em ações interceptativas, (TEIXEIRA et al., 2006a) realizaram um experimento em que a velocidade do alvo, que inicialmente era constante, poderia ser aumentada ou reduzida inesperadamente ao longo de sua trajetória, manipulando a incerteza dos blocos de tentativas em função da probabilidade de ocorrência e da direção da mudança de velocidade. Os participantes deveriam interceptar um alvo móvel virtual que se deslocava verticalmente para baixo com uma alavanca, que movia um cursor horizontalmente na tela da direita para a esquerda. Foram formados quatro grupos experimentais de acordo com a probabilidade de mudança de velocidade e da incerteza sobre a direção da mudança (aumento ou redução). Em dois destes grupos, para cada bloco experimental havia uma única direção de mudança possível, sendo que em um grupo a probabilidade de mudança era de 25% e no outro a probabilidade era de 50%. Nos outros dois grupos o alvo podia mudar a velocidade em ambas as direções, redução ou aumento, tendo um grupo com 25% de chance de mudança e o outro com 50%. O tempo em que a mudança poderia ocorrer também foi manipulado, deixando períodos mais curtos ou mais longos para o indivíduo reorganizar sua ação. Nas condições nas quais a incerteza era menor resultaram em maior precisão temporal na reorganização do movimento, demonstrando que o desempenho da interceptação sofre considerável influência de processos de organização prévia da ação antes da apresentação do estímulo. Também foi verificado que na situação de maior incerteza, mesmo na condição em que havia maior tempo para reorganizar a ação, os participantes não conseguiram obter um desempenho similar à situação sem mudança de velocidade do alvo. Estes resultados sugerem que situações de maior imprevisibilidade exigem um período de tempo mais longo para efetuação de processos perceptivos e decisórios de resposta a estímulos e que a incerteza sobre as mudanças de eventos críticos no ambiente modulam o curso da reorganização do movimento.

2.5 Efeito da expectativa

Em trabalhos prévios (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009; TEIXEIRA et al., 2006a, b) temos verificado de forma mais direta o efeito da expectativa sobre o padrão de deslocamento futuro de um alvo móvel informando aos participantes a probabilidade de mudança da velocidade do alvo e avaliando o controle de ações interceptativas em situações em que a velocidade do alvo realmente mudava e em situações em que sua velocidade inicial era mantida constante. Os resultados sob este paradigma têm mostrado que a reorganização em tarefas interceptativas depende da probabilidade de

mudança da velocidade. Por exemplo, de Azevedo Neto e Teixeira (2009) realizaram um estudo comparando condições nas quais o alvo tinha 0%, 25%, 50%, 75% ou 100% de chance de ter sua velocidade reduzida instantaneamente. Os resultados mostraram que nas tentativas em que a velocidade do alvo realmente mudava, quanto maior a probabilidade de mudança da velocidade, mais acurados eram os movimentos interceptativos. O padrão oposto foi observado quando a velocidade do alvo era mantida constante durante seu deslocamento, com movimentos mais acurados sendo observados sob baixa probabilidade de mudança de velocidade. Assim, os desempenhos sob velocidade constante e reduzida mostraram-se complementares: o desempenho na velocidade reduzida quando havia 25% de chance do alvo mudar sua velocidade foi pior do que na velocidade constante, enquanto que na condição de 75% de probabilidade de redução na velocidade a relação inversa foi observada. O desempenho entre as velocidades constante e reduzida foi semelhante na condição de 50% de probabilidade de mudança da velocidade. Nós sugerimos que esse aumento de acurácia temporal proporcional ao aumento da probabilidade de redução de velocidade é causado pela atribuição de pesos, baseados na expectativa de mudança de velocidade do alvo, ao modelo interno preditivo. Propusemos que um peso maior é atribuído na integração visuomotora ao evento com maior probabilidade de ocorrência. Neste caso, a organização do movimento seria guiada por esses pesos, levando a uma interceptação mais acurada para o evento cujas consequências são preditas por esse modelo interno.

3 OBJETIVOS

O presente trabalho teve os seguintes objetivos na análise do desempenho em ações interceptativas:

1. Avaliar o efeito da probabilidade de mudança do padrão de deslocamento de um alvo móvel.
2. Avaliar o efeito de informação prévia a respeito da probabilidade de mudança do padrão de deslocamento de um alvo móvel.
3. Avaliar a latência para início de ajuste de movimentos em resposta a uma mudança do padrão de deslocamento de um alvo móvel.
4. Comparar a reorganização temporal e espacial em resposta a uma mudança do padrão de deslocamento de um alvo móvel.

4 JUSTIFICATIVA

Estudos prévios têm proposto que o processamento de informação espacial e temporal, não só são realizados em sítios distintos no córtex cerebral (COULL, et al., 2008; DESMURGET et al., 1999), mas também possuem características distintas no processamento. Enquanto que os aspectos espaciais parecem depender exclusivamente de informação visual, os aspectos temporais parecem depender de um processamento mais elaborado, através do uso de modelos internos baseados em uma expectativa das consequências de deslocamento do alvo. Nesse sentido, é de interesse comparar a reorganização de movimentos em resposta a modificações temporais versus espaciais do alvo para interceptação. Além disso, estudos prévios (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009) têm mostrado que o conhecimento sobre a probabilidade de mudança do padrão de deslocamento de um alvo para interceptação leva a maior precisão temporal de movimentos. No entanto, não se sabe se esta melhoria no controle interceptativo é devida à informação verbal prévia sobre a probabilidade de mudança do padrão de deslocamento do alvo ou se é consequência da informação extraída pela experiência nas tentativas iniciais de uma série.

5 HIPÓTESES

As hipóteses testadas foram as seguintes:

1. O conhecimento da probabilidade de mudança de velocidade do alvo beneficia o desempenho no início de um bloco de tentativas em tarefa interceptativa.
2. O conhecimento da probabilidade de mudança de trajetória do alvo não afeta o desempenho no início de um bloco de tentativas em tarefa interceptativa.
3. O conhecimento da probabilidade de mudança de velocidade do alvo não afeta o desempenho no final de um bloco de tentativas em tarefa interceptativa.
4. A latência para iniciar a correção de movimentos para mudança de velocidade do alvo é maior do que para mudança de trajetória.

6 MÉTODOS

6.1 Participantes

Participaram voluntariamente deste estudo 48 estudantes universitários destros, de ambos os sexos, com idade variando entre 18 e 45 anos ($M = 24,62$; $DP = 5,08$). Para ingresso no estudo, os participantes declararam possuir visão normal ou corrigida para normal, não estar ingerindo medicamentos com efeitos colaterais em funções sensoriais ou motoras, e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

6.2 Aparelho e tarefa

Uma tarefa interceptativa foi realizada por meio de um software que simula o deslocamento de um alvo em uma tela de computador, de maneira que um cursor, controlado por movimentos manuais em um mouse sem fio, atinja o alvo em uma posição previamente determinada entre a posição inicial do alvo e a posição inicial do cursor. A partir dessa tarefa, foram geradas alterações da velocidade de deslocamento do alvo, de sua trajetória de deslocamento ou ambos os fatores. Tais alterações ocorreram com controle do tempo de chegada na posição correta de interceptação após o momento de mudança de velocidade do alvo. Como o objetivo na tarefa era interceptar o alvo móvel sobre a linha central, o participante deveria corrigir seu movimento, a fim de que o objetivo de interceptação fosse atingido. Para tanto, era necessário que o participante modificasse o padrão regular de movimento observado nas tentativas sem alteração da trajetória/velocidade do alvo. Essas modificações introduzidas no movimento foram usadas para inferir aspectos importantes dos ajustes introduzidos na ação. Os participantes realizaram a tarefa interceptativa sentados em uma posição confortável a aproximadamente 1 m de distância de um televisor de 42 polegadas, onde as imagens do alvo circular deslocando-se de uma posição inicial à esquerda para o centro da tela (ponto de interceptação) e da mão virtual (cursor) controlada pelo participante do estudo eram visualizadas.

A posição inicial da mão do participante foi estabelecida como a posição mais confortável para utilização do mouse pelo participante. Tanto a distância entre a posição inicial do alvo em relação à linha de interceptação quanto a distância entre a posição inicial do cursor à linha de interceptação foi estabelecida em 45 cm. Os movimentos do cursor foram registrados com uma frequência de 200 Hz e os

movimentos reais para gerar o movimento do cursor tiveram um ganho limitado pela menor velocidade possível de deslocamento do cursor. O feedback sobre o desempenho do participante foi dado pela combinação dos erros temporal e espacial. Caso o erro temporal ficasse na faixa de -50 a 50 ms e o erro espacial fosse menor ou igual ao tamanho do raio do alvo (30 pixels \sim 2.5 cm), o mesmo se tornava verde. Caso contrário, o alvo se tornava vermelho.

7 EXPERIMENTOS

Para comparar os processos de reorganização espacial e temporal de ações interceptativas foram realizados dois experimentos. No Experimento 1 foi avaliada a reorganização da ação para mudança na trajetória de deslocamento do alvo móvel. No Experimento 2 foi avaliada a reorganização da ação para mudança na velocidade de deslocamento do alvo móvel.

7.1 Experimento 1: reorganização espacial

7.1.1 Objetivo

O propósito do Experimento 1 foi avaliar a reorganização espacial da ação interceptativa em função da mudança de trajetória do alvo de forma inesperada.

7.1.2 Participantes

Foram recrutados 24 participantes de ambos os sexos, com idade variando entre 19 e 45 anos ($M = 26,10$; $DP = 6,28$).

7.1.3 Delineamento experimental e procedimentos

O participante teve inicialmente um período de familiarização geral com a tarefa, em que o alvo percorria seu trajeto à velocidade de 56 cm/s enquanto que a trajetória final do alvo era variada entre retilínea e mudança para cima. Os desvios da horizontal ocorriam 500 ms antes de atingir o ponto de interceptação, com a trajetória de deslocamento alterada em um ângulo igual a 30° para cima (Figura 1). Foram realizadas 30 tentativas em cada trajetória do alvo de maneira aleatória em um mesmo bloco. Na fase seguinte, o participante era submetido a diferentes situações experimentais, em que a trajetória de deslocamento do alvo poderia ser modificada abruptamente com as mesmas características das tentativas

de familiarização. O tempo total de deslocamento do alvo foi de 800 ms, independentemente da trajetória final de deslocamento do alvo. Para manter o tempo de deslocamento constante entre as situações experimentais, após a mudança de trajetória do alvo sua velocidade resultante era aumentada para 65 cm/s. Com esta alteração de velocidade, o tempo para chegada do alvo ao ponto de interceptação após seu desvio para cima era mantido em 500 ms. Dessa forma, o participante não tinha que alterar o tempo previsto para interceptação. Foram empregadas as seguintes condições de avaliação: mesmas características de deslocamento do alvo ao longo de um bloco de tentativas, avaliando-se as situações de trajetória constante e desvio em blocos distintos (P100); 80% de chance de ocorrer mudança de trajetória para cima e 20% para trajetória retilínea (P80); 20% de chance de o alvo mudar a trajetória para cima e 80% de chance de manter a trajetória retilínea (P20); e mesma chance de ocorrência de trajetórias retilínea e de mudança para cima (P50). A quantidade de tentativas para cada condição experimental foi variada para se obter 10 tentativas para análise (Tabela 1). O intervalo intertentativas foi auto-compassado pelo participante, enquanto que intervalos de 1 min. foram oferecidos entre as condições experimentais.

Na fase principal do experimento os participantes foram divididos em dois grupos, com um deles recebendo informação sobre a probabilidade real de ocorrência de mudança de trajetória do alvo em um bloco de tentativas (PR), enquanto que o outro grupo não recebia este tipo de informação (SI). Para o grupo PR a informação sobre a probabilidade de mudança de trajetória era oferecida verbalmente no início de cada bloco de tentativas. A fim de reforçar a informação, era perguntado no meio dos blocos ao participante sobre a probabilidade de mudança de trajetória do alvo. Para o grupo SI era solicitado apenas que produzissem seu melhor desempenho. A função do grupo SI foi oferecer uma condição de comparação para expectativa dentro da seguinte racionalidade. Caso a probabilidade de mudança de trajetória em uma dada situação fosse percebida espontaneamente e usada na organização dos movimentos de interceptação, a vantagem da informação prévia sobre probabilidade deveria ser evidente nas tentativas iniciais, mas não nas tentativas finais daquela condição. Assim, por meio da comparação entre os dois grupos foi avaliado o efeito da expectativa gerada pela informação prévia em relação à expectativa gerada por tentativas prévias. As sequências de condições experimentais foram aleatorizadas dentro de cada grupo experimental.

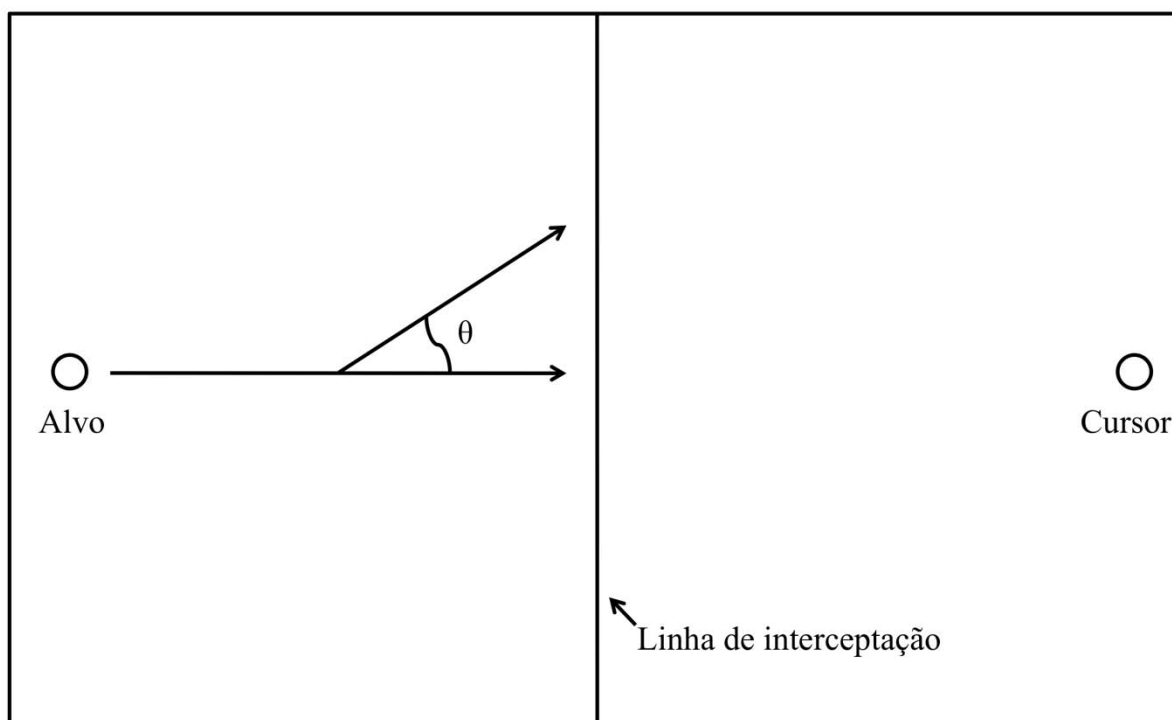


Figura 1 – Representação esquemática da mudança de trajetória do alvo.

Tabela 1 – Frequência absoluta de tentativas em que o alvo manteve a trajetória retilínea e naquelas em que a trajetória foi modificada para cima em cada condição experimental.

Condição	Retilínea	Cima
P20	40	10
P50	10	10
P80	10	40
P100retilínea	10	0
P100cima	0	10

7.1.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados através de programação em ambiente MATLAB® (MathWorks, versão 7.0.1). Os dados de posição foram filtrados utilizando-se um filtro recursivo Butterworth de quarta ordem com frequência de corte de 10 Hz. O início do movimento do cursor foi determinado quando a velocidade do cursor no eixo horizontal (x) ultrapassou o limiar de 10 cm/s, sendo a velocidade mantida acima deste valor por pelo menos 50 ms. O final do movimento correspondeu ao último valor de cada

planilha de dados. A análise dos dados foi feita por meio da média das 5 primeiras (início) e 5 últimas (fim) tentativas de cada bloco. Os testes de Kolmogorov-Smirnov e de Bartlett foram utilizados preliminarmente para testar a normalidade e a homocedasticidade dos dados, respectivamente. A análise estatística foi conduzida por meio de análises de variância com medidas repetidas. As comparações posteriores foram feitas por meio da prova de Newman-Keuls. O nível mínimo de significância foi estabelecido em 5% em todas as comparações.

7.1.4.1 Variáveis dependentes

1. Latência de início da correção. Diferença de tempo entre os momentos em que o alvo teve sua trajetória alterada e em que a velocidade do eixo vertical (y) do cursor começou a ser modificada. O início do movimento de correção foi determinado quando a velocidade do cursor no eixo vertical (y) ultrapassou o limiar de 10 cm/s e foi mantida acima desta velocidade por pelo menos 50 ms.
2. Desvio angular atual. Diferença entre o ângulo atual e o ângulo ideal 50 ms, 100 ms, 150 ms e 200 ms após o início da correção do movimento. O ângulo atual é composto pela semi-reta formada pela posição do cursor no instante atual e a posição do cursor 50 ms antes do instante atual e a semi-reta paralela à horizontal com início na posição do cursor 50 ms antes do instante atual. O ângulo ideal é composto pela semi-reta formada pela posição do cursor 50 ms antes do instante atual e a posição do alvo no instante atual e a semi-reta paralela à horizontal com início na posição do cursor 50 ms antes do instante atual (Figura 3a). Essa medida tem o potencial de indicar a trajetória atual da correção do movimento em relação à nova trajetória do alvo. Valores positivos indicam que o participante está direcionando a correção de maneira preditiva, à frente da posição atual do alvo, enquanto que valores negativos indicam que o participante está atrasado em relação à trajetória do alvo, caracterizando uma estratégia reativa.
3. Desvio angular final. Diferença entre o ângulo final e o ângulo atual 50 ms, 100 ms, 150 ms e 200 ms após o início da correção à mudança de trajetória do alvo. O ângulo final é composto pela semi-reta formada pela posição do cursor 50 ms antes do instante atual e a posição final do alvo na linha de interceptação. O ângulo atual é composto pela semi-reta formada pela posição do cursor no instante atual e a posição do cursor 50 ms antes do instante atual e a semi-reta paralela à horizontal com início na posição do cursor 50 ms antes do instante atual (Figura 3b). Esta medida tem o potencial de indicar a magnitude da correção ao longo do tempo, assim como indicar se a correção é realizada de forma gradual (correções em função da posição atual do alvo) ou instantânea (correção em função da posição futura predita do alvo).

4. Erro vertical. Distância entre o centro do alvo e o centro do cursor no eixo horizontal (y) no momento em que o alvo é interceptado, ou cruza com o cursor no eixo horizontal (x).

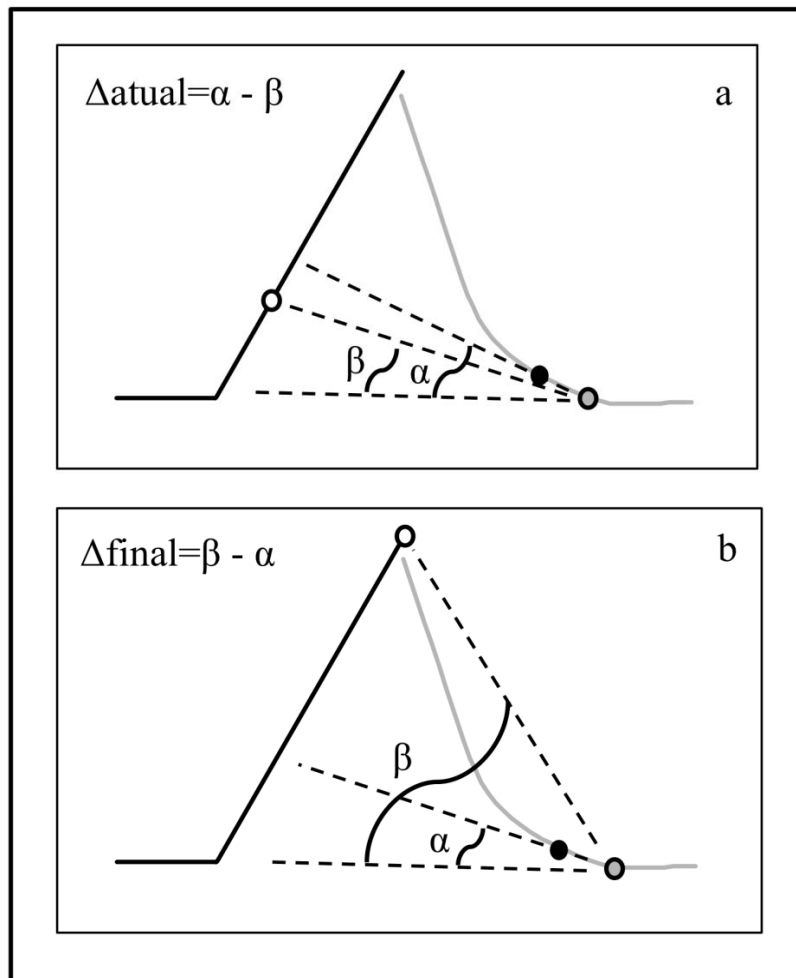


Figura 2 – Representação esquemática para cálculo do desvio angular atual (a) e final (b) para a posição do cursor 50 ms após o início da correção do movimento. Deslocamento do alvo representado pela linha preta contínua. Deslocamento do cursor representado pela linha cinza. Posição final do alvo na linha de interceptação representada pelo círculo branco. Posição do cursor no início da correção do movimento representa pelo círculo cinza. Posição do cursor após 50 ms do início da correção do movimento representada pelo círculo preto.

7.1.5 Resultados

A análise da latência para correção do movimento foi conduzida por meio de uma análise de variância de três fatores, 2 (grupo: PR x SI) x 4 (probabilidade: P20 x P50 x P80 x P100) x 2 (fase: início x fim), com medidas repetidas nos dois últimos fatores. A análise mostrou efeitos significantes dos fatores principais probabilidade [$F_{3,54} = 27,84$; $P < 0,05$] e fase [$F_{1,18} = 44,60$; $P < 0,05$]; e interação significativa probabilidade x fase [$F_{3,54} = 20,91$; $P < 0,05$]. O efeito principal de probabilidade foi devido

à menor latência para início da correção do movimento em P100 ($M = 232,87$ ms, $EP = 7,13$), seguido por P80 ($M = 253,67$ ms, $EP = 8,53$), que teve menor latência do que P50 ($M = 283,36$ ms, $EP = 4,46$) e P20 ($M = 288,96$ ms, $EP = 5,52$), sendo que estas últimas não diferiram entre si. O efeito principal de fase foi devido à menor latência no final ($M = 250,19$ ms, $EP = 5,87$) do que no início ($M = 279,24$ ms, $EP = 4,03$) dos blocos de tentativas. As comparações posteriores da interação probabilidade x fase mostraram que houve diminuição da latência para correção do movimento do início para o fim do bloco de tentativas apenas em P80 e P100. Não ocorreram efeitos significantes para o fator principal grupo nem nenhuma interação significativa envolvendo este fator.

As análises dos desvios angular atual e final foram realizadas por meio de análises de variância de quatro fatores, 2 (grupo: PR x SI) x 4 (probabilidade: P20 x P50 x P80 x P100) x 4 (tempo: 50 x 100 x 150 x 200) x 2 (fase: início x fim), com medidas repetidas nos três últimos fatores. Os dados de desvio angular atual estão representados na Figura 4. A análise mostrou efeitos significantes para os fatores principais probabilidade [$F_{3,54} = 6,30$; $P < 0,05$], tempo [$F_{3,54} = 103,11$; $P < 0,05$] e fase [$F_{1,18} = 6,91$; $P < 0,05$]; e interações significantes para tempo x fase [$F_{3,54} = 4,30$; $P < 0,05$] e probabilidade x tempo x fase [$F_{9,162} = 3,52$; $P < 0,05$]. O efeito principal de probabilidade foi devido ao maior desvio angular atual em P80 ($M = 4,08^\circ$, $EP = 0,46$) e P100 ($M = 5,28^\circ$, $EP = 0,46$) em comparação a P20 ($M = 1,82^\circ$, $EP = 0,55$) e P50 ($M = 2,38^\circ$, $EP = 0,55$), não havendo diferença entre as duas primeiras e entre as duas últimas condições. O efeito principal de tempo ocorreu devido à diferença entre todos os níveis, exceto nos tempos 100 ms ($M = 3,64^\circ$, $EP = 0,39$) e 200 ms ($M = 2,91^\circ$, $EP = 0,59$), que não diferiram entre si (50 ms: $M = -1,48^\circ$, $EP = 0,36$; 150 ms: $M = 8,50^\circ$, $EP = 0,42$). O efeito principal de fase ocorreu devido a um aumento no desvio angular atual no fim ($M = 4,07^\circ$, $EP = 0,33$) em comparação ao início ($M = 2,72^\circ$, $EP = 0,40$) do bloco de tentativas. As comparações post hoc para a interação tempo x fase mostraram um aumento significativo no desvio angular atual do início para o fim do bloco de tentativas nos instantes 50 ms (início: $M = -2,81^\circ$, $EP = 0,42$; fim: $M = -0,14^\circ$, $EP = 0,54$) e 200 ms (início: $M = 1,99^\circ$, $EP = 0,93$; fim: $M = 3,84^\circ$, $EP = 0,71$) após o início da correção do movimento. As comparações post hoc para a interação probabilidade x tempo x fase indicaram que em P80, houve maior desvio angular apenas no instante 50 ms no fim ($M = 3,36^\circ$, $EP = 0,88$) em comparação ao início ($M = -3,38^\circ$, $EP = 0,74$) do bloco de tentativas. Em P100 houve aumento do desvio angular atual nos instantes 50 ms e 200 ms do início (50 ms: $M = -0,61^\circ$, $EP = 0,85$; 200 ms: $M = 3,71^\circ$, $EP = 1,83$) para o fim (50 ms: $M = 2,12^\circ$, $EP = 0,90$; 200 ms: $M = 6,54^\circ$, $EP = 0,93$) do bloco de tentativas. Não foram encontradas diferenças entre os instantes de tempo do início para o fim do bloco de tentativas nas condições P20 e P50. Os resultados do desvio angular atual mostram um padrão consistente ao longo das condições experimentais em formato de U invertido. Aparentemente, os participantes iniciaram a correção do movimento com um desvio angular atual negativo (50 ms), atrasado em relação à posição atual do alvo. Nos instantes subsequentes os participantes apontaram o cursor à frente da posição atual do alvo, havendo um pico de desvio

angular em 150 ms com diminuição aos 200 ms após o início da correção do movimento. A única exceção a esse padrão ocorreu na fase final do bloco de tentativas nas condições P80 e P100. Nessas condições os participantes apresentaram um desvio angular atual positivo tão cedo quanto 50 ms, mostrando que assim que a correção da trajetória do movimento se inicia os participantes são capazes de antecipar a posição futura do alvo. Em adição, os participantes mantiveram um desvio angular positivo e maior que 0° nas outras condições após 200 ms do início da correção do movimento. Este padrão é um indicativo de que os participantes realizaram seus movimentos visando a um ponto futuro no deslocamento do alvo, com um ajuste no final para que a interceptação fosse realizada com sucesso. Não ocorreram efeitos significantes para o fator principal grupo, ou qualquer interação significativa envolvendo este fator.

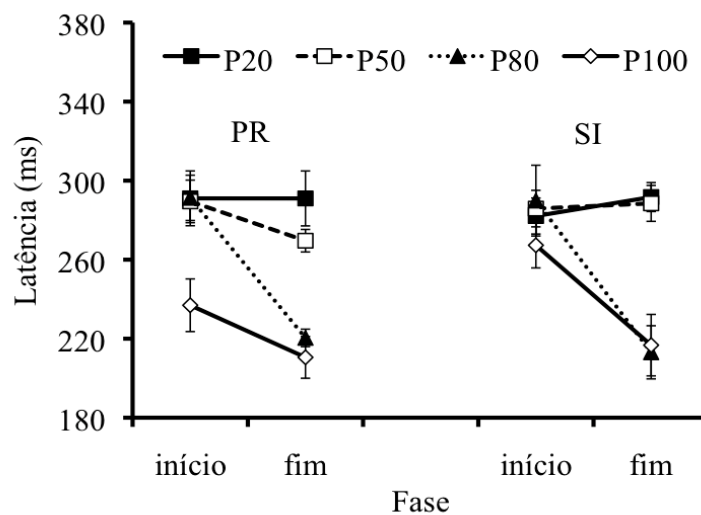


Figura 3 – Latência para correção do movimento dos grupos PR e SI, nas condições P20, P50, P80 e P100, no início e no fim dos blocos de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.

A análise do desvio angular final mostrou efeito significativo para os fatores principais probabilidade [$F_{3,54} = 4,78$; $p < 0,05$], tempo [$F_{3,54} = 203,83$; $P < 0,05$], fase [$F_{1,18} = 4,48$; $P < 0,05$]; e interações significantes para probabilidade x fase [$F_{3,54} = 6,62$; $P < 0,05$], probabilidade x tempo x fase [$F_{9,162} = 2,79$; $P < 0,05$]. Os dados de desvio angular final estão representados na Figura 5. O efeito principal de probabilidade ocorreu devido a um maior desvio angular final na condição P20 ($M = 11,67^\circ$, $EP = 0,95$) em comparação às demais condições (P50: $M = 10,05^\circ$, $EP = 0,91$; P80: $M = 9,36^\circ$, $EP = 0,84$; P100: $M = 9,32^\circ$, $EP = 0,93$). O efeito principal de fase ocorreu devido a valores menores no fim ($M = 9,56^\circ$, $EP = 0,62$) em comparação ao início ($M = 10,64^\circ$, $EP = 0,66$) do bloco de tentativas. O efeito principal tempo ocorreu devido a todos os instantes de tempo apresentarem valores significativamente distintos, com o desvio angular final diminuindo com o decorrer do tempo após o início da correção do movimento. Isto significa que as correções à perturbação são implementadas de

maneira gradual e não por uma predição única sobre a posição futura do alvo a partir do deslocamento inicial após a mudança de trajetória. Após 200 ms do início da correção do movimento, observa-se que o desvio angular final assume um valor negativo, indicando que os participantes miraram acima da posição final real do alvo. As comparações para a interação probabilidade x fase mostraram que somente em P80 houve uma diminuição do desvio angular final do início ($M = 10,99^\circ$, $EP = 1,21$) para o fim ($M = 7,73^\circ$, $EP = 1,14$) dos blocos de tentativas. As comparações para a interação probabilidade x tempo x fase, mostraram que apenas na condição P80 houve redução no desvio angular final do início para o fim do bloco de tentativas nos instantes 50 ms (início: $M = 23,07^\circ$, $EP = 1,20$; fim: $M = 14,91^\circ$, $EP = 1,05$) e 200 ms (início: $M = -2,20^\circ$, $EP = 1,48$; fim: $M = -7,51^\circ$, $EP = 1,12$) após o início da correção, e que, para os mesmos instantes, houve um menor desvio angular final no fim do bloco em P80 em comparação às demais condições experimentais. Não ocorreram nem efeitos significantes para o fator principal grupo, ou qualquer interação significativa com este fator.

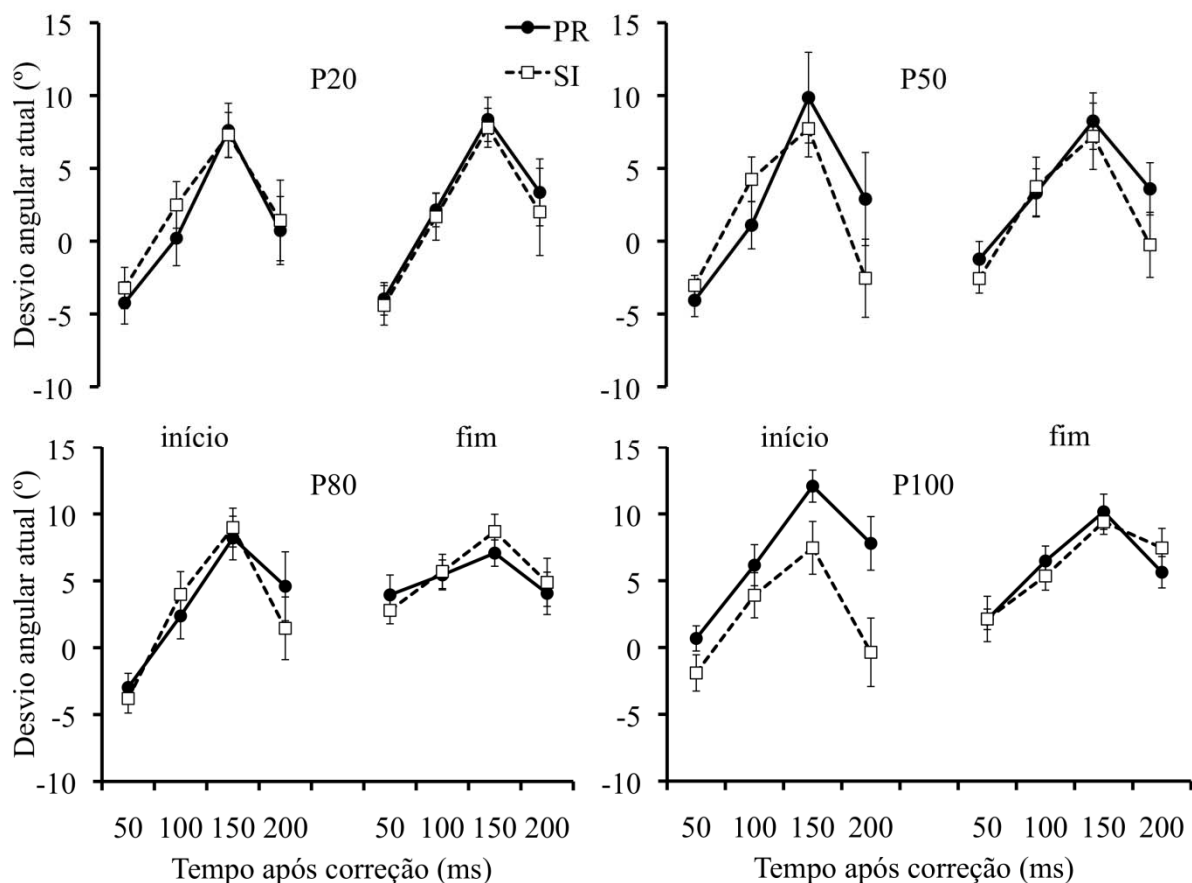


Figura 4 – Desvio angular atual dos grupos PR e SI, nas condições P20, P50, P80 e P100, no início e fim do bloco de tentativas, entre 50 e 200 ms do início da correção do movimento. Erro padrão indicado pelas barras verticais.

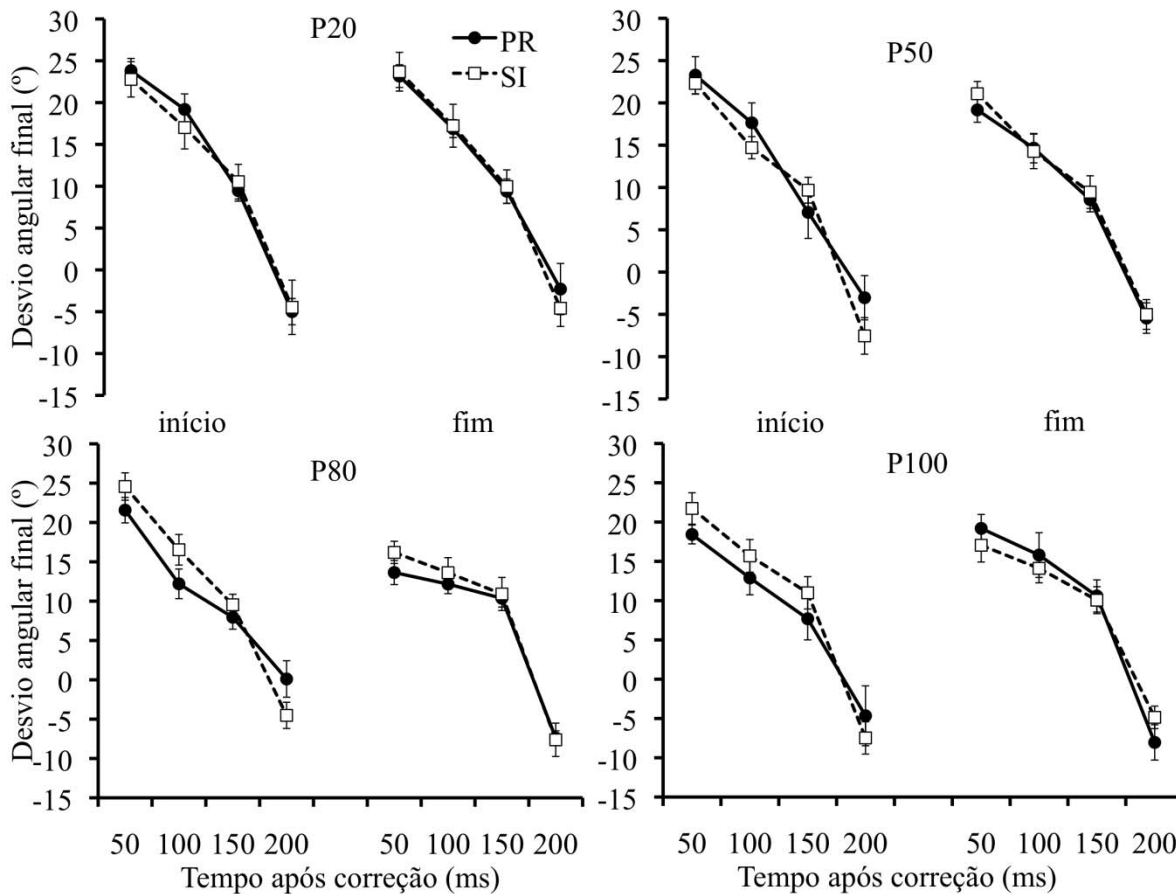


Figura 5 – Desvio angular final dos grupos PR e SI, nas condições P20, P50, P80 e P100, no início e fim dos blocos de tentativas, entre 50 e 200 ms do início da correção do movimento. Erro padrão indicado pelas barras verticais.

A análise do erro vertical foi realizada por meio de uma análise de variância de quatro fatores, 2 (grupo: PR x SI) x 4 (probabilidade: P20 x P50 x P80 x P100) x 2 (trajetória: retilínea x cima) x 2 (fase: início x fim), com medidas repetidas nos três últimos fatores. Os dados de erro vertical estão apresentados na Tabela 2. A análise mostrou apenas efeito significativo para o fator principal trajetória [$F_{1,18} = 41,30$; $P < 0,05$], causado por erro vertical abaixo do alvo na situação com mudança de trajetória para cima ($M = -1,13$ cm, $EP = 0,12$) em comparação a erro vertical acima do alvo na situação de trajetória retilínea ($M = 0,18$ cm, $EP = 0,06$); e interação significativa trajetória x fase [$F_{1,18} = 8,20$; $P < 0,05$], devido a uma redução na magnitude do erro vertical na situação de mudança de trajetória para cima no fim ($M = -0,90$ cm, $EP = 0,15$) em comparação ao início ($M = -1,36$ cm, $EP = 0,19$) do bloco de tentativas, enquanto essa diferença entre fases não foi encontrada na situação de trajetória retilínea (Início: $M = 0,19$ cm, $EP = 0,10$; Fim: $M = 0,16$ cm, $EP = 0,08$).


Tabela 2 – Erro vertical (cm) dos grupos PR e SI, nas condições P20, P50, P80 e P100, nas situações de trajetória retilínea e para cima, no início e fim do bloco de tentativas. Média (erro padrão).

Probabilidades	grupos	cte		cima	
		início	fim	início	fim
P20	PR	0,10 (0,35)	0,35 (0,19)	-1,47 (0,53)	-0,47 (0,39)
	SI	0,20 (0,25)	0,16 (0,22)	-1,43 (0,62)	-1,50 (0,62)
P50	PR	0,13 (0,34)	-0,02 (0,20)	-1,33 (0,54)	-0,48 (0,43)
	SI	0,54 (0,25)	0,14 (0,26)	-1,72 (0,39)	-1,31 (0,40)
P80	PR	0,63 (0,25)	0,84 (0,30)	-0,57 (0,26)	-0,75 (0,37)
	SI	0,39 (0,20)	0,02 (0,30)	-1,98 (0,31)	-0,79 (0,54)
P100	PR	-0,08 (0,24)	-0,10 (0,26)	-0,41 (0,92)	-0,99 (0,32)
	SI	-0,35 (0,30)	-0,07 (0,23)	-2,02 (0,56)	-0,91 (0,35)

7.1.5 Discussão

O presente experimento teve como objetivo avaliar a influência de informação prévia na reorganização em uma tarefa interceptativa com mudança de trajetória. Foi hipotetizado que, pelo fato de a reorganização da dimensão espacial depender somente da informação de mudança de posição do alvo, informação fornecida à priori não influenciaria no tempo para iniciar a correção, nem no padrão do movimento interceptativo. Os resultados mostram que os grupos experimentais, que receberam ou não informação prévia, não diferiram entre si em nenhum aspecto. Também foi mostrado que somente em P80 e P100 houve uma redução da latência para correção do movimento ao final do bloco de tentativas, não havendo uma diferença inicial entre os grupos. Estes resultados em conjunto indicam que informação sobre a probabilidade de mudança de trajetória do alvo não influencia a latência para início da correção nem o padrão de correção do movimento interceptativo. Por outro lado, foi mostrado que a expectativa sobre a mudança de trajetória é influenciada pelas tentativas prévias. Outro aspecto notório dos resultados foi o padrão de correção apresentado consistentemente em praticamente todas as condições experimentais nas variáveis desvio angular atual e final. A partir destes resultados, foi evidenciado que os participantes utilizaram uma estratégia preditiva, em que a trajetória do cursor, após um início atrasado em relação à posição do alvo, se torna adiantada até muito próximo do momento de interceptação. No entanto, foi observado que o modo de controle não é composto por uma predição exata da posição final do alvo, este fato evidenciado pela diminuição gradativa do desvio angular final. Os resultados desse experimento, assim, suportam a proposição de um mecanismo de controle preditivo baseado na expectativa criada pelas tentativas anteriores (DE LUSSANET; SMEETS; BRENNER, 2001, 2002, 2004; GRAY, 2002a, b; TIJTGAT, et al., 2010).


A latência para correções de movimentos interceptativos direcionados a alvos que têm sua posição modificada tem sido mostrada ser da ordem de 100 ms (BOCK; JUNGLING, 1999; BOULINGUEZ;

NOUGIER, 1999; BRENNER; SMEETS, 1997; CARNAHAN; MARTENIUK, 1994; CASTIELLO; PAULIGNAN; JEANNEROD, 1991; VAN SONDEREN; GIELEN; DENIER VAN DER GON, 1989). Os resultados da latência no presente experimento mostraram valores mais altos do que os reportados na literatura, cerca de 200-300 ms. A discrepância de resultados pode ser explicada pelas características particulares das tarefas utilizadas. Nos experimentos reportados na literatura o movimento era direcionado a um alvo estático, que tinha sua posição instantaneamente modificada para outro local. No presente experimento os participantes deveriam interceptar um alvo móvel e corrigir a trajetória do movimento em curso após perceber a mudança de trajetória do alvo. A principal diferença entre as tarefas que pode ter levado a maiores latências para início da correção do movimento pode ser a presença do componente temporal no presente experimento. A presença de um componente temporal no controle do movimento pode ter interferido no processamento de informação da mudança de posição do alvo. Este resultado sugere que o controle de aspectos temporais e espaciais de movimentos interceptativos não são completamente independentes, como proposto inicialmente por Smeets e colegas (ver também BAIRSTOW, 1987). Uma interpretação alternativa é de que, apesar da trajetória e velocidade do movimento serem estimadas a partir de caminhos distintos de processamento central, o uso de informações sobre tempo e espaço para o controle da ação é realizado de maneira integrada. Apesar de haver  dicativos de que informação espacial é processada na porção superior do córtex parietal **superior** (DESMURGET et al., 1999; PISELLA et al., 2000) e de que informação temporal é processada no lobo parietal inferior (COULL et al., 2008), estas informações precisam ser posteriormente combinadas para o controle preciso da ação interceptativa. A partir desta exposição, sugere-se que o processamento conjunto de aspectos espaciais e temporais em tarefas interceptativas leva a uma maior latência para início da correção de características espaciais do movimento do que em situações nas quais há somente processamento de aspectos espaciais do alvo.

O debate sobre os mecanismos de controle utilizados em ações interceptativas tem girado principalmente em torno de duas hipóteses: controle prospectivo (BOOTSMA, et al., 1997) e preditivo (ZAGO et al., 2009). A hipótese de controle prospectivo propõe que o fluxo de informação visual gerado pela relação continuamente atualizada entre efector e objeto é considerada suficiente para controlar a ação interceptativa. Por sua vez, a hipótese de controle preditivo propõe que o movimento seja guiado por um modelo interno sobre o deslocamento futuro do alvo, sendo constantemente atualizado pela informação visual em curso. Nossos resultados suportam a hipótese de que ações interceptativas são controladas por um mecanismo preditivo. Os resultados do desvio angular atual mostram que, apesar de haver um atraso no início da correção em relação à posição atual do alvo, após 100 ms é evidente que um mecanismo preditivo conservador está em vigor, indicado pelo fato de o cursor estar sendo direcionado acima da posição atual do alvo. Este comportamento preditivo se mantém até 200 ms após o início da correção, apresentando aumento da magnitude de predição após 150 ms, e

reduzindo essa magnitude próximo a 0° após 200 ms. A redução do desvio angular atual a valores próximos de zero mostram um ajuste final fino para obter êxito na tarefa na iminência de contato. Este ajuste fino é um indicativo da incorporação de ajustes em curso ao modelo interno preditivo, dado que o cursor ainda mira em uma posição acima do alvo. Os resultados do desvio angular final mostram claramente que o ângulo ideal para interceptar o alvo no local correto não é atingido no início da correção do movimento. De forma contrária, o desvio angular final decresce com o tempo, mostrando o caráter contínuo da reorganização do movimento, e não a predição futura exata da posição do alvo sobre a linha de interceptação. Um possível adendo para explicar a diminuição gradativa do desvio angular final é a impossibilidade de fazer uma modificação abrupta na trajetória do cursor devido à inércia do movimento. Dessa forma, nossos resultados suportam a proposta de um mecanismo de controle preditivo que é constantemente atualizado por informação visual do alvo. A partir dessa proposta, o efetor está sujeito a correções em curso devido a mudanças no ambiente, apresentando comportamento inicialmente atrasado em relação ao deslocamento do alvo. Erros no planejamento inicial do movimento ou iminência de contato, por sua vez, podem ser enquadrados em um perfil de ajuste que não apresentam atraso. Essa ausência de atraso se deve à incorporação desse ajuste ao modelo interno preditivo, e não a uma comparação direta entre as posições atuais do alvo e do cursor (DESMURGET; GRAFTON, 2000). Na ausência da necessidade de ajustes, ou após implementada a correção do movimento, o sistema é controlado por um mecanismo que depende fortemente de uma predição conservadora sobre o deslocamento futuro do alvo para compensar o atraso visuomotor inerente ao sistema nervoso (BROUWER et al., 2003; NIJHAWAN; KIRSCHFELD, 2003; SOECHTING; JUVELI; RAO, 2009; ZAGO et al., 2009).

A ausência de diferença entre os grupos experimentais tanto no início quanto no fim do bloco de tentativas mostra que a informação fornecida verbalmente sobre a probabilidade de mudança de trajetória do alvo no início do bloco não influenciou o controle da ação interceptativa. Em estudo recente (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009) foi proposto que a probabilidade informada à priori fazia com que os participantes criassem uma expectativa em função da situação de maior probabilidade de ocorrência de um evento, e que essa expectativa criava um peso no modelo interno preditivo responsável por guiar a ação interceptativa. Os resultados do presente experimento não sustentam a hipótese de que o conhecimento declarativo sobre a probabilidade de mudança da trajetória do alvo influencia a organização e reorganização do movimento interceptativo. De maneira contrária, nossos resultados indicam que na dimensão espacial os participantes utilizam a experiência de tentativas prévias para estabelecer uma expectativa sobre o deslocamento futuro do alvo. Este comportamento se torna evidente na redução da latência para início da correção do movimento no fim do bloco de tentativas em comparação ao início somente nas condições experimentais P80 e P100, assim como na modificação do padrão de desvio angular apresentado no final do bloco em P80 e P100. Nestas condições, em que há

maior chance de tentativas subsequentes com mudança de trajetória, os participantes aparentemente utilizam a probabilidade percebida em tentativas anteriores no planejamento dos movimentos subsequentes. Em condições de  probabilidade de mudança de trajetória do alvo os participantes parecem atribuir um peso **menor** na integração visuomotora às consequências previstas de mudança de trajetória do alvo, levando a uma menor latência para início da correção. Por outro lado, em condições de baixa probabilidade de mudança de trajetória do alvo a atribuição de pesos menores à possível mudança de trajetória pode ser responsável por tempos maiores para início da correção do movimento. Do nosso conhecimento, apesar de estudos prévios terem evidenciado que o efeito da expectativa em função de tentativas anteriores é capaz de afetar o timing na rebatida (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009; GRAY, 2002a, b), e ajustar a velocidade do movimento em curso (DE LUSSANET; SMEETS; BRENNER, 2001, 2002; TIJTGAT et al., 2010), este é o primeiro estudo que mostra o efeito da expectativa na reorganização do movimento com base nas tentativas passadas na dimensão espacial do movimento. Este efeito da expectativa apresentado nas condições de maior probabilidade refutam a proposição de que o controle visuomotor do movimento na dimensão espacial, por possuir uma natureza mais direta (DESMURGET et al., 1999; PISELLA et al., 2000), não sofreria influência de processos de ordem superior. Em consonância com nossos resultados, estudos recentes têm mostrado que mesmo correções anteriormente tidas como automáticas e inconscientes (GOODALE; PELISSON; PRABLANC, 1986; PISELLA et al., 2000; ROSSETTI; PISELLA; VIGHETTO, 2003) podem ser moduladas pela intenção do indivíduo (CAMERON et al., 2009a, b; MCINTOSH; MULROUE; BROCKMOLE, 2010; STRIEMER; YUKOVSKY; GOODALE, 2010). Neste sentido, torna-se evidente que o controle visuomotor não é regulado pura e exclusivamente com base no fluxo de informação visual (BOOTSMA et al., 1997; LEE, et al., 1983). Em conclusão, o presente experimento nos leva à concepção de que a organização e reorganização espacial do movimento são realizadas por um modelo interno preditivo, que utiliza os pesos criados pela expectativa formada em tentativas anteriores para guiar a ação interceptativa.

7.2 Experimento 2: reorganização temporal

7.2.1 Objetivo

O Experimento 2 teve como objetivo avaliar o processo de reorganização temporal na tarefa de interceptação em função de mudanças inesperadas na velocidade de deslocamento do alvo.

7.2.2 Participantes

Foram recrutados 24 participantes de ambos os sexos, com idade variando entre 18 e 29 anos ($M = 23,15$; $DP = 3,01$).

7.2.3 Delineamento experimental e procedimentos

O participante teve inicialmente um período de familiarização geral com a tarefa, em que o alvo percorria seu trajeto completo à velocidade de 56 cm/s, ou tinha sua velocidade reduzida abruptamente para 34 cm/s a 300 ms do de atingir o ponto de interceptação. Após a redução de velocidade, o alvo levava 500 ms para atingir o ponto de interceptação. A duração do deslocamento do alvo em situação de velocidade constante era de 800 ms, enquanto que com redução de velocidade era de 1000 ms. (Figura 6). Foram realizadas 30 tentativas com cada velocidade do alvo de maneira aleatória em um mesmo bloco como familiarização. Na fase seguinte, o participante era submetido a condições nas quais a velocidade poderia ser mantida inalterada ou ser reduzida, havendo diferentes probabilidades de ocorrência dessas velocidades. Foram empregadas as seguintes condições de avaliação: as características de deslocamento do alvo foram as mesmas ao longo de um bloco de tentativas, avaliando-se as situações de velocidade constante e redução de velocidade em blocos distintos (P100); 80% de chance de ocorrer redução de velocidade e 20% de chance de manter constante (P80); 20% de chance de ocorrer redução de velocidade e 80% de chance de manter velocidade constante (P20); mesma chance de ocorrência de velocidade constante e redução de velocidade (P50). A quantidade de tentativas para cada condição experimental está descrita na Tabela 3. O intervalo inter-tentativas foi auto-compassado, enquanto que intervalos de 1 min. foram oferecidos entre as condições experimentais.

Na fase principal do experimento, os participantes foram divididos em dois grupos, com um deles recebendo informação sobre a probabilidade real de ocorrência de redução de velocidade do alvo em um bloco de tentativas (PR), enquanto que o outro grupo não recebia esta informação (SI). Para o grupo PR a informação sobre a probabilidade de redução de velocidade era oferecida verbalmente no início de cada bloco de tentativas, e o participante também era solicitado a responder no meio dos blocos sobre a probabilidade daquele bloco para reforçar a informação. Para o grupo SI era solicitado apenas que produzissem seu melhor desempenho.

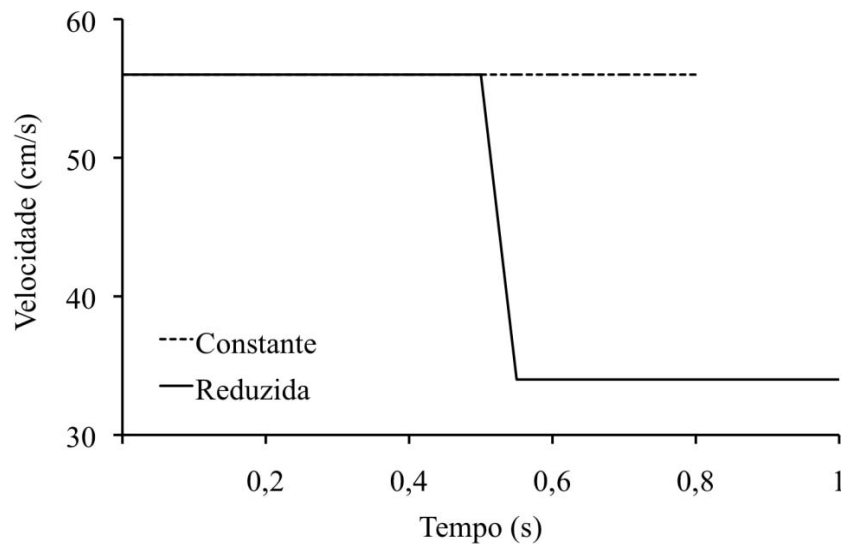


Figura 6 – Representação esquemática das situações de velocidade constante e reduzida.

Tabela 3 – Frequência absoluta de tentativas em que o alvo manteve velocidade constante e naquelas em que a velocidade foi reduzida em cada condição experimental.

Condição	Constante	Reduzida
P20	40	10
P50	10	10
P80	10	40
P100 constante	10	0
P100 reduzida	0	10

7.2.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados através de programação em MATLAB® (MathWorks, versão 7.0.1). Os dados de posição foram filtrados utilizando-se um filtro recursivo Butterworth de quarta ordem com frequência de corte de 10 Hz. O início do movimento do cursor foi determinado quando a velocidade do cursor no eixo horizontal (x) ultrapassou o limiar de 10 cm/s, e foi mantida acima desta velocidade por pelo menos 50 ms. O final do movimento correspondeu ao último valor de cada planilha de dados. A análise dos dados foi feita por meio da média das 5 primeiras (início) e 5 últimas (fim) tentativas de cada bloco. Os testes de Kolmogorov-Smirnov e de Bartlett foram utilizados preliminarmente para testar a normalidade e a homocedasticidade dos dados, respectivamente. A análise estatística foi conduzida por

meio de análises de variância de quatro fatores, 2 (grupo: PR x SI) x 4 (probabilidade: P20 x P50 x P80 x P100) x 2 (velocidade: constante x reduzida) x 2 (fase: início x fim), com medidas repetidas nos três últimos fatores. As comparações posteriores foram feitas por meio da prova de Newman-Keuls. O nível de significância foi estabelecido em 5% em todas as comparações.

7.2.4.1 Variáveis dependentes

1. Latência de início da correção. Diferença de tempo entre os momentos de redução de velocidade do alvo e de início de alteração do perfil de velocidade do eixo horizontal (x) do cursor.
2. Erro algébrico temporal. Diferença de tempo entre os momentos de cruzamento da linha média pelo alvo e pelo cursor. Sinal negativo quando o cursor cruzava antes do alvo e positivo em caso contrário. Esta variável foi usada para avaliar a tendência direcional do erro temporal, indicando a capacidade dos participantes de alterar a direção induzida de erro pela alteração inesperada da posição do alvo
3. Erro absoluto temporal. Média dos módulos dos erros observados em uma série de tentativas. Indica a magnitude dos erros independentemente de sua direção.
4. Tempo de movimento. Intervalo de tempo entre o início do movimento e o momento de cruzamento da linha média.
5. Tempo de iniciação. Intervalo de tempo entre o início do movimento do alvo e o início do movimento do cursor.

7.2.5 Resultados

Não foi possível calcular a latência para início da correção do movimento neste experimento devido às características da curva de velocidade do cursor. Dois métodos foram utilizados na tentativa de calcular a latência. No primeiro foram feitos testes iterativos de Wilcoxon, comparando-se todas as tentativas com velocidade constante e todas as tentativas com mudança de velocidade. Todas as curvas foram sincronizadas no início do movimento e subsequentemente submetidas ao teste iterativo de Wilcoxon, gerando um valor de P para cada instante. A latência de início de correção foi definida como a diferença entre o instante em que a função fornece um valor de $P < 0,05$, permanecendo significativo por pelo menos 50 ms (10 quadros), e o instante em que houve a mudança de velocidade do alvo. O fato de as curvas na condição de velocidade constante serem muito semelhantes às curvas com redução de

velocidade não permitiu que a função mostrasse diferença significativa entre as curvas. O outro método utilizado foi a diferença entre o maior pico de velocidade do cursor e o momento de mudança de velocidade do alvo. Das 1400 curvas analisadas, 627 foram excluídas porque o maior pico de velocidade ocorreu menos de 150 ms depois do instante de redução de velocidade do alvo. Dessa forma, as semelhanças entre os padrões das curvas impossibilitou tirar uma conclusão quanto à presença de correções causadas exclusivamente pela redução de velocidade.

A análise do erro constante temporal mostrou efeitos significantes para os fatores principais probabilidade [$F_{3,54} = 3,84$; $P < 0,05$] e velocidade [$F_{1,18} = 594,06$; $P < 0,05$]; e interações significantes para probabilidade x velocidade [$F_{3,54} = 29,18$; $P < 0,05$], probabilidade x fase [$F_{3,54} = 3,25$; $P < 0,05$], e velocidade x fase [$F_{1,18} = 42,85$; $P < 0,05$]. O efeito principal de probabilidade ocorreu devido a um maior atraso em P80 ($M = 26,30$ ms, $EP = 7,73$) em relação a P50 ($M = 9,44$ ms, $EP = 9,11$) e P100 ($M = 11,91$ ms, $EP = 5,18$), com as duas últimas não diferindo entre si (P20, $M = 17,11$, $EP = 9,11$). O efeito principal de velocidade foi devido a um atraso para interceptar alvos com velocidade constante ($M = 69,71$ ms, $EP = 3,64$), enquanto nas tentativas com velocidade reduzida os movimentos foram adiantados ($M = -37,32$ ms, $EP = 3,75$). As comparações post hoc para a interação probabilidade x velocidade mostraram que houve menor atraso em P100 em velocidade constante ($M = 40,01$ ms, $EP = 5,41$) do que em P20 ($M = 82,20$ ms, $EP = 7,58$), P50 ($M = 76,97$ ms, $EP = 7,24$) e P80 ($M = 79,72$ ms, $EP = 6,80$), que não diferiram entre si. Na situação de velocidade reduzida houve menor adiantamento do movimento interceptativo em P80 ($M = -27,12$ ms, $EP = 7,04$) e P100 ($M = -16,18$ ms, $EP = 6,26$) do que em P20 ($M = -47,91$ ms, $EP = 7,90$) e P50 ($M = -58,08$ ms, $EP = 7,09$). As comparações post hoc para a interação probabilidade x fase mostraram que houve maior atraso na resposta no fim do bloco de tentativas na condição P80 ($M = 31,48$ ms, $EP = 9,48$) do que nas condições P20 ($M = 8,04$ ms, $EP = 11,77$) e P100 ($M = 6,51$ ms, $EP = 6,45$), não havendo diferenças para a primeira fase, nem as últimas condições com P50 ($M = 12,82$ ms, $EP = 12,11$). As comparações post hoc para a interação velocidade x fase mostraram que houve uma diminuição no atraso do início para o fim do bloco de tentativas na velocidade constante (início: $M = 78,71$ ms, $EP = 5,07$; fim: $M = 60,71$ ms, $EP = 5,06$), e uma diminuição no adiantamento da resposta na velocidade reduzida (início: $M = -43,37$ ms, $EP = 5,43$; fim: $M = -31,28$ ms, $EP = 5,12$). Não houve diferença entre os grupos experimentais em nenhuma condição experimental. Os resultados do erro constante estão representados na Figura 7.

A análise do erro absoluto temporal mostrou efeito significativo para os fatores principais probabilidade [$F_{3,54} = 15,82$; $P < 0,05$] e fase [$F_{1,18} = 29,07$; $P < 0,05$]; e interação significativa para probabilidade x velocidade [$F_{3,54} = 3,93$; $P < 0,05$]. As comparações post hoc para o efeito principal de probabilidade indicaram que o efeito foi devido a um menor erro absoluto temporal na condição P100 ($M = 53,57$ ms, $EP = 2,54$) do que nas demais (P20: $M = 79,32$ ms, $EP = 4,20$; P50: $M = 79,21$ ms, $EP = 3,77$; P80: $M = 73,47$ ms, $EP = 3,90$), que não diferiram entre si. O efeito principal de fase foi causado

por uma diminuição na magnitude do erro no fim ($M = 64,66$ ms, $EP = 2,73$) em comparação ao início ($M = 78,12$ ms, $EP = 2,58$) do bloco de tentativas. As comparações post hoc para a interação probabilidade x velocidade mostraram que em velocidade constante houve menor erro absoluto temporal na condição P100 ($M = 52,38$ ms, $EP = 3,99$) do que em P20 ($M = 87,66$ ms, $EP = 6,44$), P50 ($M = 82,92$ ms, $EP = 5,69$) e P80 ($M = 85,87$ ms, $EP = 6,11$), que não diferiram entre si. Na situação de velocidade reduzida houve menor magnitude de erro em P100 ($M = 54,76$ ms, $EP = 3,18$) do que em P20 ($M = 70,97$ ms, $EP = 5,16$) e P50 ($M = 75,50$ ms, $EP = 4,94$), que não diferiram entre si. Em P80 ($M = 61,07$, $EP = 4,07$) houve menor erro absoluto temporal na velocidade reduzida do que em P50. A única condição em que houve diferença entre as situações de velocidade constante e reduzida foi P80, com maior erro absoluto na velocidade constante do que na velocidade reduzida. Não houve diferença entre os grupos em nenhuma condição experimental (Figura 8).

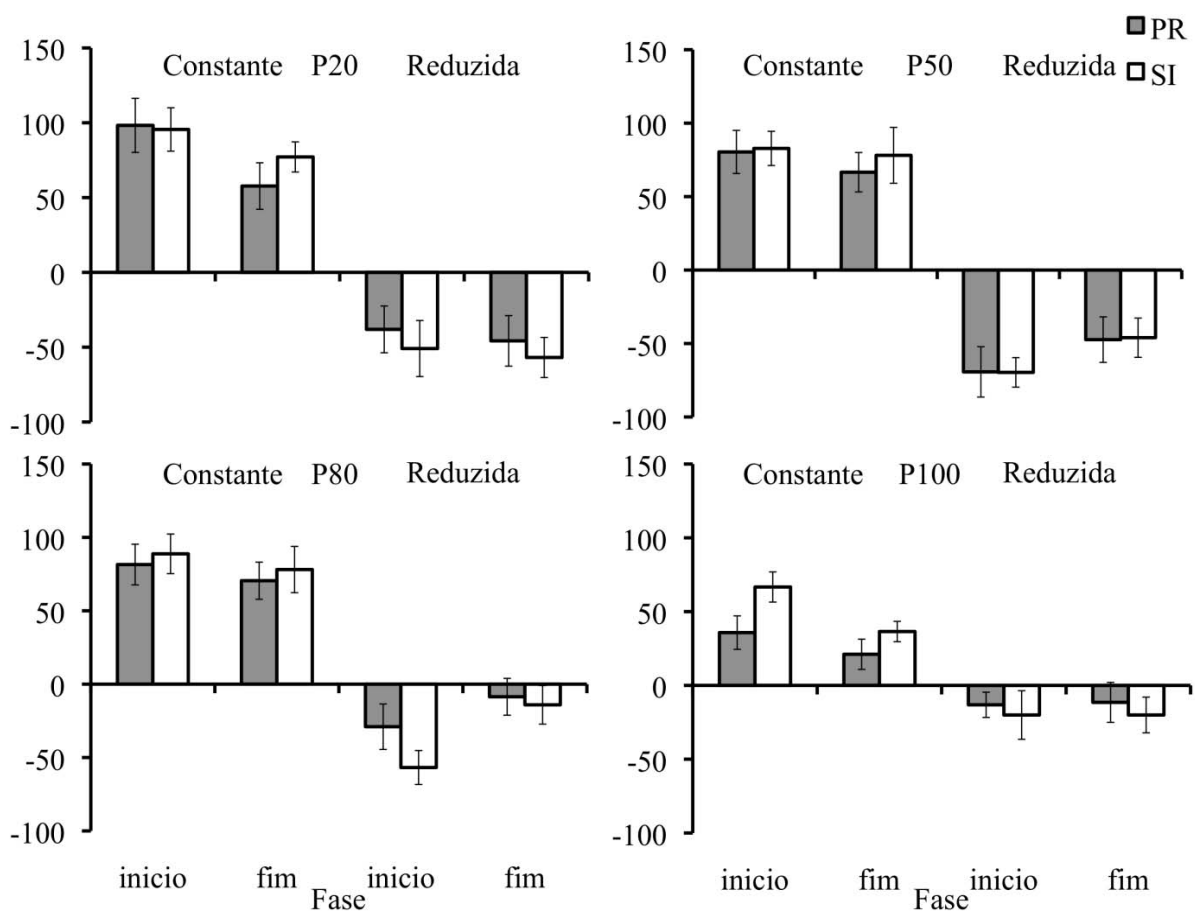


Figura 7 – Erro constante temporal para os grupos PR e SI, nas condições experimentais P20, P50, P80 e P100, nas situações de velocidade constante e reduzida, no início e fim do bloco de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.

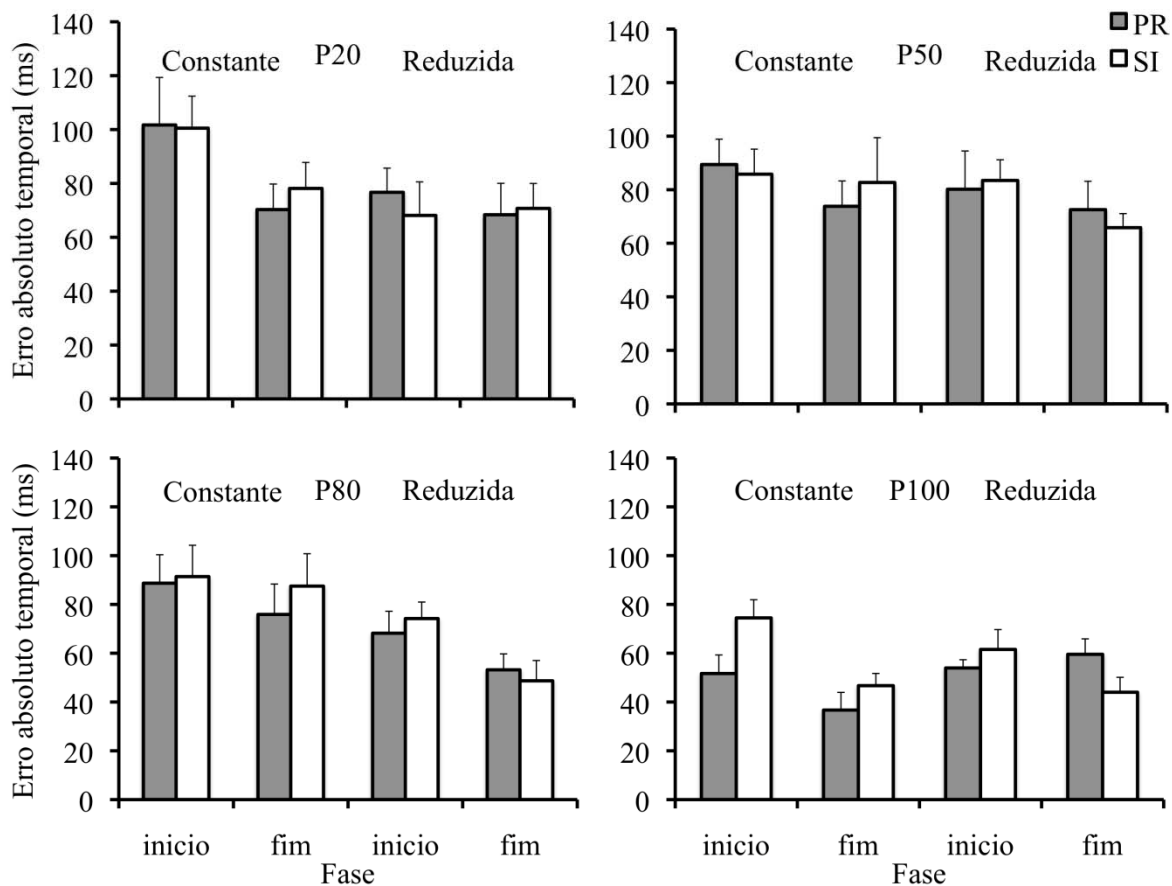


Figura 8 – Erro absoluto temporal para os grupos PR e SI, nas condições experimentais P20, P50, P80 e P100, nas situações de velocidade constante e reduzida, no início e fim do bloco de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.

A análise do tempo de iniciação indicou efeito significativo somente para a interação velocidade x fase [$F_{1,18} = 8,20$; $P < 0,05$]. As comparações post hoc indicaram que o efeito foi devido ao fato de o tempo de iniciação ter sido maior no fim do bloco de tentativas do que no início na situação de velocidade reduzida (Figura 9).

A análise do tempo de movimento indicou efeitos significantes para os fatores principais velocidade [$F_{1,18} = 417,77$; $P < 0,05$] e fase [$F_{1,18} = 10,29$; $P < 0,05$]; e interações significantes para probabilidade x velocidade [$F_{3,54} = 19,57$; $P < 0,05$], probabilidade x fase [$F_{3,54} = 6,11$; $P < 0,05$], velocidade x fase [$F_{1,18} = 30,98$; $P < 0,05$]. O efeito principal velocidade foi devido ao maior tempo de movimento na velocidade reduzida ($M = 633,26$ ms, $EP = 4,07$) do que na situação de velocidade constante ($M = 534,29$ ms, $EP = 3,83$). O efeito principal de fase foi devido a uma redução no tempo de movimento no fim ($M = 576,90$ ms, $EP = 5,97$) em comparação ao início ($M = 590,65$ ms, $EP = 5,07$) do bloco de tentativas. As comparações post hoc para a interação probabilidade x velocidade indicaram que o tempo de movimento diferiu entre as probabilidades para cada velocidade, a não ser na situação de velocidade constante entre as condições P20 ($M = 524,40$ ms, $EP = 8,52$) e P100 ($M = 514,35$ ms, $EP = 5,20$). As comparações post hoc para a interação de probabilidade x fase mostraram que em P20 houve uma redução do tempo de movimento do cursor no fim ($M = 554,22$ ms, $EP = 12,91$) em comparação ao

início ($M = 597,67$ ms, $EP = 9,88$) do bloco de tentativas, enquanto que nas demais probabilidades o tempo de movimento se manteve estável. As comparações post hoc para a interação velocidade x fase mostraram que somente na situação de velocidade constante houve redução no tempo de movimento no fim ($M = 519,05$ ms, $EP = 4,88$) em comparação ao início ($M = 549,54$ ms, $EP = 5,42$) do bloco de tentativas. Os resultados do tempo de movimento estão representados na Figura 10.

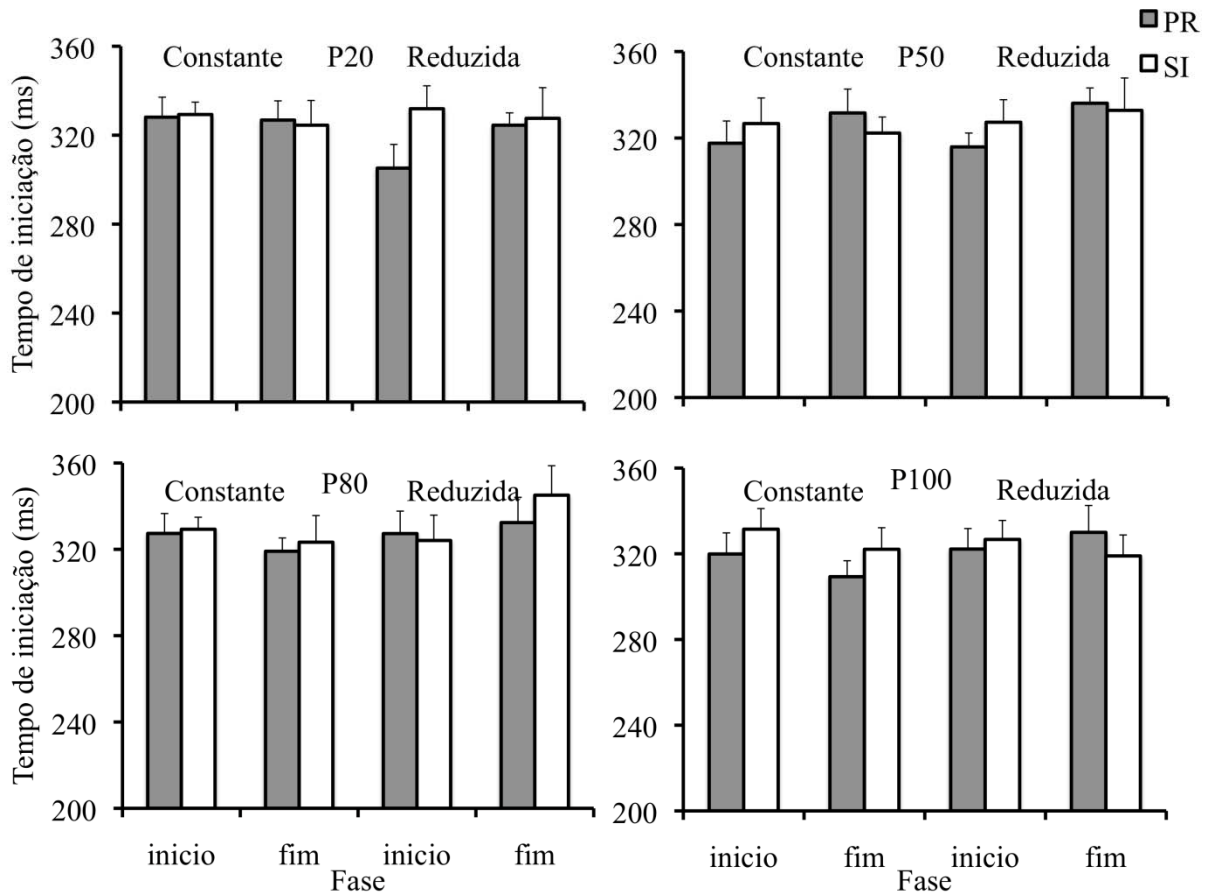


Figura 9 – Tempo de iniciação para os grupos PR e SI, nas condições experimentais P20, P50, P80 e P100, nas situações de velocidade constante e reduzida, no início e fim do bloco de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.

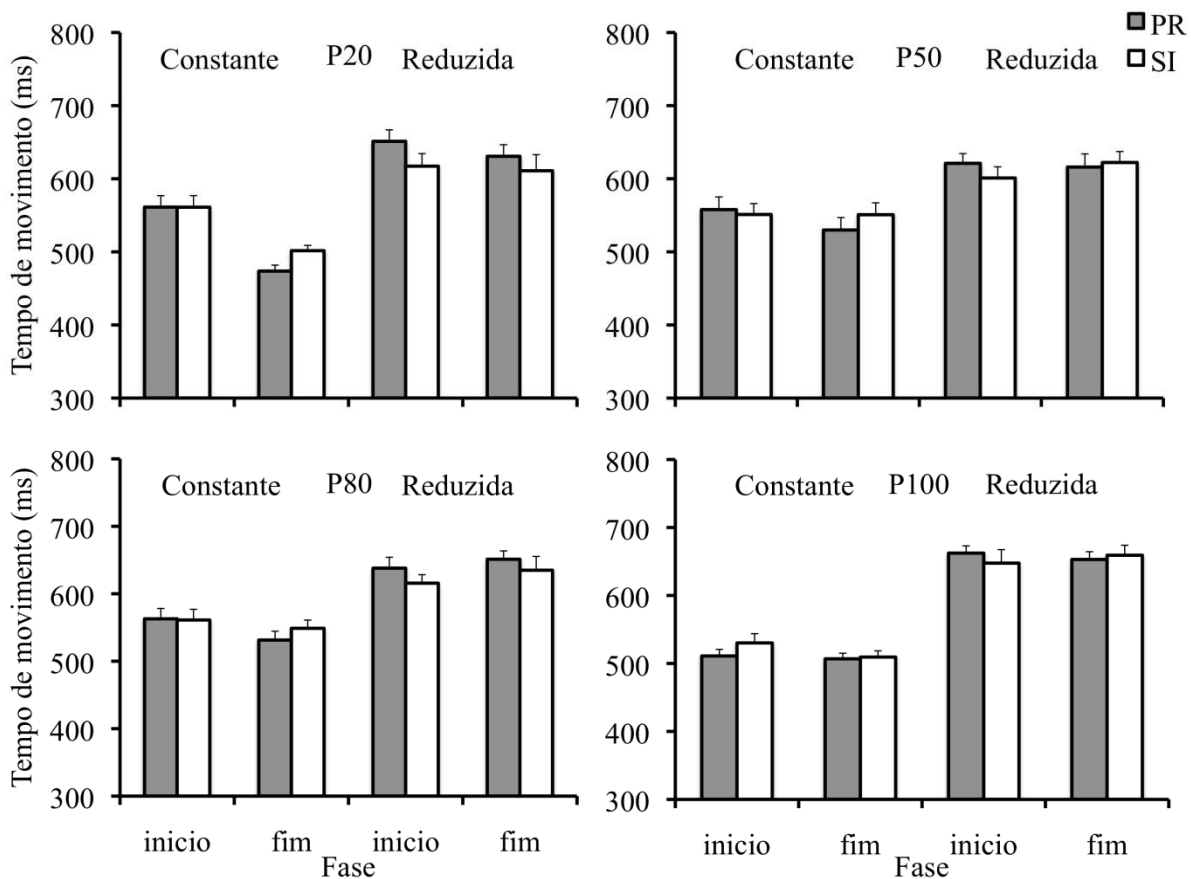


Figura 10 – Tempo de movimento para os grupos PR e SI, nas condições experimentais P20, P50, P80 e P100, nas situações de velocidade constante e reduzida, no início e fim do bloco de tentativas. Erro padrão indicado pelas barras verticais.

7.3 Discussão

O Experimento 2 teve como objetivo avaliar a influência de informação prévia na reorganização de uma ação interceptativa em resposta à mudança de velocidade do alvo. Foi hipotetizado que, dada a natureza indireta do processamento e uso da informação temporal do alvo, informação fornecida à priori influenciaria tanto o tempo para iniciar a correção, quanto os erros temporais e o padrão do movimento interceptativo. Os resultados mostram que os grupos experimentais, que receberam ou não informação prévia, não diferiram entre si em nenhum aspecto. Também foi mostrado que maior probabilidade de mudança de velocidade levou a menores erros temporais na interceptação do alvo móvel. Contudo, este mesmo padrão não ocorreu quando havia maior probabilidade de velocidade constante. A diferença no tempo de movimento entre as situações de velocidade constante e reduzida mostra, de maneira indireta, que os participantes foram capazes de implementar ajustes à mudança de velocidade do alvo. De maneira geral, os resultados do presente experimento nos levam à conclusão de que os participantes

utilizaram a informação proveniente de tentativas anteriores para guiar seu comportamento nas tentativas subsequentes.

A participação de processos de ordem superior no controle de ações interceptativas tem sido inferido a partir de situações em que o indivíduo utiliza a expectativa sobre a velocidade de deslocamento do alvo para controlar a ação (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009, 2011; DE LUSSANET; SMEETS; BRENNER, 2001, 2002). Zago e colegas (INDOVINA et al., 2005; MCINTYRE et al., 2001; SENOT; PREVOST; MCINTYRE, 2003; ZAGO et al., 2004, 2005; ZAGO; LACQUANITI, 2005) têm mostrado consistentemente que ao rebater um alvo em queda livre um indivíduo não leva em consideração somente a informação visual sobre o movimento do alvo, mas também o efeito esperado da força da gravidade, que pode causar aceleração ou desaceleração no seu deslocamento. De fato, como o sistema visual tem-se mostrado ineficiente em utilizar informação sobre a aceleração do alvo (BROUWER; BRENNER; SMEETS, 2002b), um indivíduo organiza suas ações com base na expectativa de que o alvo acelerará, devido à sua exposição aos efeitos da força da gravidade ao longo da vida. Tal expectativa tem mostrado exercer um efeito notável sobre o controle motor, levando à noção de que ações interceptativas são controladas com base em um modelo interno preditivo sobre o deslocamento futuro do alvo, ao invés de estar baseado em informação visual pura. Os resultados de erro da condição P100 oferecem suporte a essa proposição, dado que menor magnitude de erro foi encontrada nessa condição tanto na situação de velocidade constante quanto reduzida. Outro aspecto que reforça essa proposição é o fato de terem sido realizados maiores tempos de movimento na situação de velocidade reduzida, e menores na situação de velocidade constante na condição P100. A situação de previsibilidade de mudança de velocidade nos fornece uma informação particularmente interessante, pois mostra que os participantes organizaram suas ações para um tempo para contato diferente daquele especificado pela informação inicial presente no estímulo visual na primeira parte do seu movimento. Nossos resultados mostraram claramente que a redução de velocidade não representou uma perturbação nessa circunstância.

Nas situações em que houve incerteza sobre a mudança de velocidade do alvo, esperava-se encontrar um padrão semelhante ao encontrado em nosso estudo anterior (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009), ou seja, uma perturbação na temporização do movimento proporcional à probabilidade de mudança do alvo. No presente estudo, este padrão não foi tão acentuado quanto no estudo anterior. Nas medidas de erro foi encontrada somente redução na magnitude do erro na situação de velocidade reduzida com o aumento da probabilidade de redução de velocidade. Na situação de velocidade constante, surpreendentemente, maior erro foi encontrado na situação P20, uma das situações com maior probabilidade de velocidade constante.

Em relação às variáveis cinemáticas, fica claro que o tempo de movimento foi influenciado pela probabilidade de ocorrência de mudança de velocidade. Os participantes realizaram movimentos mais

lentos em P100 e P80 para velocidade reduzida, enquanto realizaram movimentos mais rápidos em P20 e P100 para a velocidade constante. Por sua vez, em P50 os tempos de movimento se aproximaram entre as situações de velocidade constante e reduzida, mostrando uma tentativa de realizar movimentos que favorecessem ambas as condições. Estes resultados são consistentes com a observação recente de que na tarefa de agarrar em um contexto de previsibilidade sobre a velocidade da bola, as características cinemáticas no movimento são ajustadas de acordo com a velocidade real da bola, ao invés de apresentar um padrão cinemático invariante, como acontece em um contexto imprevisível (TIJTGAT et al., 2010). Nossos resultados ampliam essa noção de ajuste do movimento em curso de acordo com a situação em que o participante se encontra. Assim como no estudo de Tjittgat et al. (2010), o tempo de movimento foi ajustado de acordo com o requisitado por velocidades constante e reduzida em P100, enquanto em P50 os tempos de movimento entre as duas situações de velocidades se aproximaram. Como elemento novo, foi mostrado que nas condições P20 e P80 os participantes ajustaram seus tempos de movimento à velocidade com maior probabilidade de ocorrência. Assim, o tempo de movimento da situação de velocidade com maior probabilidade se aproximou do tempo de movimento da velocidade com maior probabilidade. Por exemplo, o tempo de movimento na situação de velocidade reduzida em P20 foi menor do que em P80. Essa adaptação do tempo de movimento não pode ser creditada a correções realizadas em curso, dado que a velocidade é a mesma em ambas as condições. Dessa forma, esses resultados suportam a concepção de que o controle interceptativo é influenciado por uma expectativa criada pelo contexto em que a tarefa está sendo realizada (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009, 2011; ZAGO et al., 2009).

A ausência de diferença entre os grupos tanto no início quanto no fim do bloco de tentativas em todas as variáveis dependentes levam à conclusão de que a informação fornecida a priori sobre a probabilidade de redução de velocidade em cada bloco de tentativas não influencia o comportamento dos participantes. Em estudo recente (DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2009) foi proposto que o conhecimento declarativo da probabilidade de mudança de velocidade foi utilizado para criar a expectativa que modularia o modelo interno preditivo responsável por controlar o movimento interceptativo. Os resultados do presente experimento contradizem essa proposta e levam à conclusão de que a expectativa de redução de velocidade é desenvolvida ao longo das tentativas de um bloco e não por instrução prévia.

8 CONCLUSÃO GERAL

Inicialmente, foi planejado comparar-se os resultados de latência de correção do movimento do Experimento 1 com os resultados da mesma variável dependente do Experimento 2, para avaliar a diferença no tempo necessário para reorganizar ação nas dimensões espacial e temporal, respectivamente. A partir dessa comparação, poderiam ser traçadas conclusões concernentes à diferença no processamento dessas informações em diferentes vias no córtex cerebral. Contudo, a impossibilidade de calcular a latência para o início da correção no Experimento 2 impediu que pudéssemos fazer essa discussão. Apesar de outros estudos terem conseguido calcular esta variável em situações com mudança de velocidade (BRENNER; SMEETS; DE LUSSANET, 1998; LE RUNIGO; BENGUIGUI; BARDY, 2005; TEIXEIRA et al., 2006a, b), as curvas de velocidade do Experimento 2 não favoreceram nossa análise, com grande semelhança entres as situações com redução versus sem redução de velocidade.

Em ambos os experimentos foi verificado que a probabilidade de mudança das características de deslocamento do alvo influenciou a reorganização do movimento. Contudo, este efeito não pode ser creditado ao uso de informação prévia fornecida pelo experimentador. De maneira contrária, a ausência de diferença entre os grupos experimentais e a modificação de características cinemáticas e de desempenho ao longo do bloco de tentativas nos mostra, que ao invés do conhecimento declarativo, os participantes utilizam a experiência nas tentativas anteriores para criar a expectativa que guiará os movimentos subsequentes. Assim, de maneira geral, o presente estudo dá suporte à concepção de que ações interceptativas são guiadas por um modelo interno preditivo cujos pesos são estabelecido pela expectativa de deslocamento futuro do alvo em função de tentativas prévias.

REFERÊNCIAS

- BAIRSTOW, P. J. Analysis of hand movement to moving targets. **Human Movement Science**, v. 6, n. p. 205-231, 1987.
- BOCK, O.; JUNGLING, S. Reprogramming of grip aperture in a double-step virtual grasping paradigm. **Experimental Brain Research**, v. 125, n. 1, p. 61-66, 1999.
- BOOTSMA, R.; FAYT, V.; ZAAL, F. T. J. M.; LAURENT, M. On the information-based regulation of movement: What wann (1996) may want to consider. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 23, n. 4, p. 1282-1289, 1997.
- BOULINGUEZ, P.; NOUGIER, V. Control of goal-directed movements: The contribution of orienting of visual attention and motor preparation. **Acta Psychologica**, v. 103, n. 1-2, p. 21-45, 1999.
- BRENNER, E.; SMEETS, J. B. Fast responses of the human hand to changes in target position. **Journal of Motor Behavior**, v. 29, n. 4, p. 297-310, 1997.
- BRENNER, E.; SMEETS, J. B.; DE LUSSANET, M. H. Hitting moving targets. Continuous control of the acceleration of the hand on the basis of the target's velocity. **Experimental Brain Research**, v. 122, n. 4, p. 467-474, 1998.
- BROUWER, A. M.; BRENNER, E.; SMEETS, J. B. Hitting moving objects. The dependency of hand velocity on the speed of the target. **Experimental Brain Research**, v. 133, n. 2, p. 242-248, 2000.
- _____. Hitting moving objects: Is target speed used in guiding the hand? **Experimental Brain Research**, v. 143, n. 2, p. 198-211, 2002a.
- _____. Perception of acceleration with short presentation times: Can acceleration be used in interception? **Perception and Psychophysics**, v. 64, n. 7, p. 1160-1168, 2002b.
- BROUWER, A. M.; MIDDELBURG, T.; SMEETS, J. B.; BRENNER, E. Hitting moving targets: A dissociation between the use of the target's speed and direction of motion. **Experimental Brain Research**, v. 152, n. 3, p. 368-375, 2003.
- BROWN, L. E.; HALPERT, B. A.; GOODALE, M. A. Peripheral vision for perception and action. **Experimental Brain Research**, v. 165, n. 1, p. 97-106, 2005.
- CAMERON, B. D.; CRESSMAN, E. K.; FRANKS, I. M.; CHUA, R. Cognitive constraint on the 'automatic pilot' for the hand: Movement intention influences the hand's susceptibility to involuntary online corrections. **Consciousness and Cognition**, v. 18, n. 3, p. 646-652, 2009a.

CAMERON, B. D.; ENNS, J. T.; FRANKS, I. M.; CHUA, R. The hand's automatic pilot can update visual information while the eye is in motion. **Experimental Brain Research**, v. 195, n. 3, p. 445-454, 2009b.

CARNAHAN, H.; MARTENIUK, R. G. Hand, eye, and head coordination while pointing to perturbed targets. **Journal of Motor Behavior**, v. 26, n. 2, p. 135-146, 1994.

CASTIELLO, U.; PAULIGNAN, Y.; JEANNEROD, M. Temporal dissociation of motor responses and subjective awareness. A study in normal subjects. **Brain**, v. 114 (Pt 6), n. p. 2639-2655, 1991.

COULL, J. T.; VIDAL, F.; GOULON, C.; NAZARIAN, B.; CRAIG, C. Using time-to-contact information to assess potential collision modulates both visual and temporal prediction networks. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 2, n. p. 1-10, 2008.

DAY, B. L.; LYON, I. N. Voluntary modification of automatic arm movements evoked by motion of a visual target. **Experimental Brain Research**, v. 130, n. 2, p. 159-168, 2000.

DE AZEVEDO NETO, R. M.; TEIXEIRA, L. A. Control of interceptive actions is based on expectancy of time to target arrival. **Experimental Brain Research**, v. 199, n. 2, p. 135-143, 2009.

_____. Intercepting moving targets: Does memory from practice in a specific condition of target displacement affect movement timing? **Experimental Brain Research**, v. 211, n. 1, p. 109-117, 2011.

DE LUSSANET, M. H.; SMEETS, J. B.; BRENNER, E. The effect of expectations on hitting moving targets: Influence of the preceding target's speed. **Experimental Brain Research**, v. 137, n. 2, p. 246-248, 2001.

_____. The relation between task history and movement strategy. **Behavioural Brain Research**, v. 129, n. 1-2, p. 51-59, 2002.

_____. The quantitative use of velocity information in fast interception. **Experimental Brain Research**, v. 157, n. 2, p. 181-196, 2004.

DESMURGET, M.; EPSTEIN, C. M.; TURNER, R. S.; PRABLANC, C.; ALEXANDER, G. E.; GRAFTON, S. T. Role of the posterior parietal cortex in updating reaching movements to a visual target. **Nature Neuroscience**, v. 2, n. 6, p. 563-567, 1999.

DESMURGET, M.; GRAFTON, S. Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. **Trends in Cognitive Science**, v. 4, n. 11, p. 423-431, 2000.

ENGEL, K. C.; SOECHTING, J. F. Manual tracking in two dimensions. **Journal of Neurophysiology**, v. 83, n. 6, p. 3483-3496, 2000.

GEORGOPOULOS, A. P.; KALASKA, J. F.; MASSEY, J. T. Spatial trajectories and reaction times of aimed movements: Effects of practice, uncertainty, and change in target location. **Journal of Neurophysiology**, v. 46, n. 4, p. 725-743, 1981.

GOODALE, M. A.; MILNER, A. D. Separate visual pathways for perception and action. **Trends in Neuroscience**, v. 15, n. 1, p. 20-25, 1992.

GOODALE, M. A.; PELISSON, D.; PRABLANC, C. Large adjustments in visually guided reaching do not depend on vision of the hand or perception of target displacement. **Nature**, v. 320, n. 6064, p. 748-750, 1986.

GRAY, R. Behavior of college baseball players in a virtual batting task. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 28, n. 5, p. 1131-1148, 2002a.

_____. "Markov at the bat": A model of cognitive processing in baseball batters. **Psychological Science**, v. 13, n. 6, p. 542-547, 2002b.

HOPFINGER, J. B.; BUONOCORE, M. H.; MANGUN, G. R. The neural mechanisms of top-down attentional control. **Nature Neuroscience**, v. 3, n. 3, p. 284-291, 2000.

INDOVINA, I.; MAFFEI, V.; BOSCO, G.; ZAGO, M.; MACALUSO, E.; LACQUANITI, F. Representation of visual gravitational motion in the human vestibular cortex. **Science**, v. 308, n. 5720, p. 416-419, 2005.

JAMES, T. W.; CULHAM, J.; HUMPHREY, G. K.; MILNER, A. D.; GOODALE, M. A. Ventral occipital lesions impair object recognition but not object-directed grasping: An fmri study. **Brain**, v. 126, n. Pt 11, p. 2463-2475, 2003.

LACQUANITI, F.; MAIOLI, C. The role of preparation in tuning anticipatory and reflex responses during catching. **Journal of Neuroscience**, v. 9, n. 1, p. 134-148, 1989.

LAND, M. F.; MCLEOD, P. From eye movements to actions: How batsmen hit the ball. **Nature Neuroscience**, v. 3, n. 12, p. 1340-1345, 2000.

LE RUNIGO, C.; BENGUIGUI, N.; BARDY, B. G. Perception-action coupling and expertise in interceptive actions. **Human Movement Science**, v. 24, n. 3, p. 429-445, 2005.

LEE, D. N.; YOUNG, D. S.; REDDISH, P. E.; LOUGH, S.; CLAYTON, T. M. Visual timing in hitting an accelerating ball. **Quarterly Journal of Experimental Psychology A**, v. 35, n. Pt 2, p. 333-346, 1983.

MASON, A. H.; CARNAHAN, H. Target viewing time and velocity effects on prehension. **Experimental Brain Research**, v. 127, n. 1, p. 83-94, 1999.

MCINTOSH, R. D.; MULROUE, A.; BROCKMOLE, J. R. How automatic is the hand's automatic pilot? Evidence from dual-task studies. **Experimental Brain Research**, v. 206, n. 3, p. 257-269, 2010.

MCINTYRE, J.; ZAGO, M.; BERTHOZ, A.; LACQUANITI, F. Does the brain model newton's laws? **Nature Neuroscience**, v. 4, n. 7, p. 693-694, 2001.

MILNER, A. D.; GOODALE, M. A. **The visual brain in action**. Oxford: Oxford University Press, 1995.

_____. Two visual systems re-viewed. **Neuropsychologia**, v. 46, n. 3, p. 774-785, 2008.

NIJHAWAN, R.; KIRSCHFELD, K. Analogous mechanisms compensate for neural delays in the sensory and the motor pathways: Evidence from motor flash-lag. **Current Biology**, v. 13, n. 9, p. 749-753, 2003.

PISELLA, L.; BINKOFSKI, F.; LASEK, K.; TONI, I.; ROSSETTI, Y. No double-dissociation between optic ataxia and visual agnosia: Multiple sub-streams for multiple visuo-manual integrations. **Neuropsychologia**, v. 44, n. 13, p. 2734-2748, 2006.

PISELLA, L.; GREY, H.; TILIKETE, C.; VIGHETTO, A.; DESMURGET, M.; RODE, G.; BOISSON, D.; ROSSETTI, Y. An 'automatic pilot' for the hand in human posterior parietal cortex: Toward reinterpreting optic ataxia. **Nature Neuroscience**, v. 3, n. 7, p. 729-736, 2000.

PORT, N. L.; LEE, D.; DASSONVILLE, P.; GEORGOPOULOS, A. P. Manual interception of moving targets. I. Performance and movement initiation. **Experimental Brain Research**, v. 116, n. 3, p. 406-420, 1997.

REGAN, D. Visual judgements and misjudgements in cricket, and the art of flight. **Perception**, v. 21, n. 1, p. 91-115, 1992.

ROSSETTI, Y.; PISELLA, L.; VIGHETTO, A. Optic ataxia revisited: Visually guided action versus immediate visuomotor control. **Experimental Brain Research**, v. 153, n. 2, p. 171-179, 2003.

SAUNDERS, J. A.; KNILL, D. C. Humans use continuous visual feedback from the hand to control both the direction and distance of pointing movements. **Experimental Brain Research**, v. 162, n. 4, p. 458-473, 2005.

SCHMOLESKY, M. T.; WANG, Y.; HANES, D. P.; THOMPSON, K. G.; LEUTGEB, S.; SCHALL, J. D.; LEVENTHAL, A. G. Signal timing across the macaque visual system. **Journal of Neurophysiology**, v. 79, n. 6, p. 3272-3278, 1998.

SENOT, P.; PREVOST, P.; MCINTYRE, J. Estimating time to contact and impact velocity when catching an accelerating object with the hand. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 29, n. 1, p. 219-237, 2003.

SMEETS, J. B.; BRENNER, E. Perception and action are based on the same visual information: Distinction between position and velocity. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 21, n. 1, p. 19-31, 1995.

SMEETS, J. B.; BRENNER, E.; DE LUSSANET, M. H. Visuomotor delays when hitting running spiders. **Advances in perception-action coupling**. Paris. Éditions EDK, 1998. p.36-40.

SOECHTING, J. F.; JUVELI, J. Z.; RAO, H. M. Models for the extrapolation of target motion for manual interception. **Journal of Neurophysiology**, v. 102, n. 3, p. 1491-1502, 2009.

STRIEMER, C. L.; YUKOVSKY, J.; GOODALE, M. A. Can intention override the "Automatic pilot"? **Experimental Brain Research**, v. 202, n. 3, p. 623-632, 2010.

TEIXEIRA, L. A.; CHUA, R.; NAGELKERKE, P.; FRANKS, I. M. Reprogramming of interceptive actions: Time course of temporal corrections for unexpected target velocity change. **Journal of Motor Behavior**, v. 38, n. 6, p. 467-477, 2006a.

_____. Use of visual information in the correction of interceptive actions. **Experimental Brain Research**, v. 175, n. 4, p. 758-763, 2006b.

TEIXEIRA, L. A.; FRANZONI, M. M. Time course of timing reprogramming in interception is modulated by uncertainty on velocity alteration. **Revista Portuguesa de Ciencia do Desporto**, v. n. p. 167-173, 2005.

TEIXEIRA, L. A.; FRANZONI, M. M.; DA SILVA, J. B. Are the elderly able to appropriately reprogram their actions? **Motor Control**, v. 10, n. 2, p. 93-108, 2006.

TEIXEIRA, L. A.; LIMA EDOS, S.; FRANZONI, M. M. The continuous nature of timing reprogramming in an interceptive task. **Journal Sports Science**, v. 23, n. 9, p. 943-950, 2005.

TEIXEIRA, L. A.; LIMA, E. S.; FRANZONI, M. M. The continuous nature of timing reprogramming in an interceptive task. **Journal Sports Science**, v. 23, n. 9, p. 943-950, 2005.

TIJTGAT, P.; BENNETT, S. J.; SAVELSBERGH, G. J.; DE CLERCQ, D.; LENOIR, M. Advance knowledge effects on kinematics of one-handed catching. **Experimental Brain Research**, v. 201, n. 4, p. 875-884, 2010.

VAN SONDEREN, J. F.; GIELEN, C. C.; DENIER VAN DER GON, J. J. Motor programmes for goal-directed movements are continuously adjusted according to changes in target location. **Experimental Brain Research**, v. 78, n. 1, p. 139-146, 1989.

WOLPERT, D. M.; FLANAGAN, J. R. Motor prediction. **Current Biology**, v. 11, n. 18, p. R729-732, 2001.

WOLPERT, D. M.; GHAHRAMANI, Z. Computational principles of movement neuroscience. **Nature Neuroscience**, v. 3 Suppl, n. p. 1212-1217, 2000.

WOLPERT, D. M.; GHAHRAMANI, Z.; JORDAN, M. I. An internal model for sensorimotor integration. **Science**, v. 269, n. 5232, p. 1880-1882, 1995.

ZAGO, M.; BOSCO, G.; MAFFEI, V.; IOSA, M.; IVANENKO, Y. P.; LACQUANITI, F. Internal models of target motion: Expected dynamics overrides measured kinematics in timing manual interceptions. **Journal of Neurophysiology**, v. 91, n. 4, p. 1620-1634, 2004.

_____. Fast adaptation of the internal model of gravity for manual interceptions: Evidence for event-dependent learning. **Journal of Neurophysiology**, v. 93, n. 2, p. 1055-1068, 2005.

ZAGO, M.; LACQUANITI, F. Internal model of gravity for hand interception: Parametric adaptation to zero-gravity visual targets on earth. **Journal of Neurophysiology**, v. 94, n. 2, p. 1346-1357, 2005.

ZAGO, M.; MCINTYRE, J.; SENOT, P.; LACQUANITI, F. Internal models and prediction of visual gravitational motion. **Vision Research**, v. 48, n. 14, p. 1532-1538, 2008.

_____. Visuo-motor coordination and internal models for object interception. **Experimental Brain Research**, v. 192, n. 4, p. 571-604, 2009.