



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ricardo Miguel Matias Gomes

VISÃO E CONTROLO MOTOR:
INFLUÊNCIA DA VISÃO NO CONTROLO DA CORRIDA DE *TRAIL*

Tese no âmbito do Doutoramento em Ciências do Desporto - Ramo de Treino Desportivo, orientada pelos Professores Doutores Rui Manuel Sousa Mendes, Gonçalo Nuno Figueiredo Dias e Manuel João Coelho e Silva, e apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra

Setembro de 2019



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ricardo Miguel Matias Gomes

VISÃO E CONTROLO MOTOR:
INFLUÊNCIA DA VISÃO NO CONTROLO DA CORRIDA DE
TRAIL

Tese no âmbito do Doutoramento em Ciências do Desporto - Ramo de Treino Desportivo,
orientada pelos Professores Doutores Rui Manuel Sousa Mendes e Gonçalo Nuno Figueiredo
Dias e Manuel João Coelho e Silva, e apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e
Educação Física da Universidade de Coimbra

Setembro de 2019

Ricardo Miguel Matias Gomes

**VISÃO E CONTROLO MOTOR: INFLUÊNCIA DA VISÃO NO CONTROLO DA
CORRIDA DE TRAIL**

Tese de doutoramento, apresentada à Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra, com vista à obtenção do grau de doutor em Ciências do Desporto – Ramo de Treino Desportivo.

Orientadores:

Prof. Doutor Rui Manuel Sousa Mendes

(Instituto Politécnico de Coimbra. Escola Superior de Educação)

Prof. Doutor Gonçalo Nuno Figueiredo Dias

(Universidade de Coimbra. CIDAF)

Prof. Doutor Manuel João Coelho-e-Silva

(Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física)

COIMBRA

2019

A minha ausência e impaciência, durante
todo este tempo, que tenho a certeza que
foi compreendida por quem é mais
importante para mim.

Às minhas filhas, Maria Inês e Margarida,

À minha Sandra,

Aos meus pais.

Foi por nós, e com vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Rui Mendes, pelo seu apoio, pragmatismo e dedicação manifestada em todos os momentos deste trabalho. Uma orientação próxima, um amigo e verdadeiro exemplo de dedicação e capacidade de trabalho ímpar. É uma honra trabalhar contigo, Rui!

Ao Professor Doutor Gonçalo Dias, pelo seu apoio, acutilância científica, disponibilidade e prontidão. Uma referência, com uma capacidade de trabalho e rigor científico ímpar. Muito obrigado, Gonçalo!

Ao Professor Doutor Manuel João Coelho e Silva, por ter acreditado no projeto e ter emprestado o seu rigor e qualidade científica.

Ao Professor Doutor Fernando Martins, pelo seu incansável empenho no apoio à resolução dos problemas matemáticos com que nos deparámos. Fernando, foi uma honra poder ter contado com o teu apoio. Foste peça fundamental deste “puzzle”.

Ao Rui Marques, pelo seu apoio na recolha de dados, pelo seu companheirismo, empenho e rigor, que enriqueceu esta pesquisa.

Aos Professores Doutores António Sérgio Damásio e Ricardo Melo, pelo vosso apoio na conceção, design e implementação do aparato experimental.

Aos docentes da Área Científica de Educação Física e Desporto da ESEC – IPC, por todo o vosso apoio e camaradagem. Senti um verdadeiro “espírito de corpo” na forma como se disponibilizaram para me ajudar a completar este caminho. Obrigado, Amigos!

Ao Acácio Correia, ao Vasco Lopes, ao João Pimentel e Inês Marques, pela vossa colaboração na programação informática que permitiu fazer parte da análise dos dados.

À Associação Cultural e Desportiva de Anços, pela cedência do pavilhão utilizado para a recolha dos dados.

A todos os participantes do estudo, que se disponibilizaram a correr os 26km debaixo de um sol escaldante. Obrigado a todos, e bons trilhos!

Aos meus pais, pelo apoio logístico que permitiu que o trabalho pudesse ser feito, e por acreditarem que chegaria a bom porto. Obrigado.

À minha Sandra, por tudo.

Menção ao apoio financeiro

Trabalho financiado parcialmente pelo QREN, **Mais Centro - Programa Operacional Regional do Centro**, FEDER (CENTRO-07-CT62-FEDER-005012; ID: 64765) e parcialmente pela FCT/MEC através de fundos nacionais e quando aplicável cofinanciado pelo FEDER, no âmbito do Acordo de Parceria PT2020 no âmbito do projeto UID/EEA/50008/2013.

Para além disso contou com o auxílio do projeto financiado “uPATO” do Instituto de Telecomunicações, financiado pelo UID/EEA/50008/2013.

RESUMO

Ancorado na Teoria dos Sistemas Dinâmicos, mais concretamente no modelo dos constrangimentos de Newell, este trabalho teve como objetivo analisar a importância da informação visual na corrida de *trail*, investigando a influência que o nível de experiência dos atletas tem nas estratégias de busca visual, assim como a influência da fadiga fisiológica neste processo. A amostra foi constituída por 18 participantes, todos praticantes de corrida de *trail* (37.89 ± 5.73 anos) tendo a mesma sido dividida em dois grupos de nove, sendo um grupo composto por atletas experientes (38.89 ± 6.30 anos) e outro composto por praticantes recreativos (36.90 ± 4.91 anos). Os participantes percorreram 10 vezes uma pista de 21 metros que permitia simular a corrida de *trail*, antes e depois de realizarem um percurso de trail longo (26.2km, desnível acumulado positivo de 860 metros). Para a caracterização do impacto desta prova nos participantes foram recolhidos dados sobre a composição corporal, lactato, Percepção Subjetiva de Esforço e de atenção. Os movimentos dos olhos durante a corrida em pista foram gravados com recurso a óculos de vídeo-oculografia, que nos permitiram estudar os padrões de movimentos e de fixações do olhar dos participantes no percurso de teste. Para o tratamento estatístico a comparação entre experts e não-experts foi feita recorrendo ao teste t para amostras independentes. Foi ainda utilizado o teste t para amostras emparelhadas para a comparação entre as variáveis antes e depois da prova de trail. Para a análise não linear dos dados, a variabilidade dos padrões de fixação foi estudada através da entropia visual, e da entropia de transições de estados, recorrendo às matrizes de transição de primeira ordem de Markov. A variabilidade dos padrões de movimentos dos olhos foi estudada através da entropia aproximada, da *sample entropy*, do expoente de Lyapunov e do expoente de Hurst. Os resultados indicam que as estratégias de busca visual adotadas na corrida de *trail* são influenciadas tanto pela experiência dos atletas como pela fadiga. Foram ainda encontradas algumas diferenças ao nível da variabilidade dos padrões de movimentos dos olhos, apontando também para a influência do efeito da experiência e da fadiga neste processo.

Palavras-Chave: Variabilidade, Constrangimentos, Controlo Motor, *Eye Tracking*; corrida de *Trail*

ABSTRACT

Within the framework of the Dynamical Systems Theory and Newell's Constraints Led Approach, this work aimed to study the importance of visual information in trail running, by assessing the influence of experience and fatigue in visual search strategies and patterns. The sample was composed of 18 trail running athletes (37.89 ± 5.73 years), divided in two groups of 9 experienced runners (38.89 ± 6.30 years) and 9 novices (36.90 ± 4.91 years). Participants were asked to run 10 times on a 21-metre track that simulated a trail running single-track, before and after a trail running event (26.2km, positive accumulated ascent of 860 metres). To characterise the physiological impact of the event, participants' body composition, blood lactate, Rating of Perceived Exertion and attention were gathered before and after the event. To analyse the participants' visual search strategies and patterns, their eye movements were recorded with head-mounted eye tracking glasses along the 21-metre track. Comparison between expert and non-expert runners was done using t-test for independent samples. Paired samples t-test was used to assess the influence of fatigue in the studied variables. Variability of the eye movements and fixations was studied using nonlinear techniques. Therefore, the variability of fixation patterns was studied by analysing visual entropy and state-transition entropy derived from 1st order Markov's transition matrixes. Variability of eye movement patterns was studied using approximate entropy, sample entropy, Lyapunov's exponent and Hurst exponent. Results indicate that visual search strategies adopted in trail running are affected by the athletes' level of experience and fatigue. Additionally, experience and fatigue were also found to affect the variability of eye movement patterns.

Key-words: Variability; Constraints; Motor Control; Eye tracking; trail running.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUÇÃO	1
1.1. Pertinência do Estudo.....	2
1.2. Objetivos do estudo	4
1.3. Organização do estudo	5
CAPÍTULO II	7
REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1. Visão e percepção no controlo dos sistemas de movimento humano.....	7
2.2. Perspetiva Cognitivista	8
2.2.1. Controlo da visão na linha da perspetiva cognitivista.....	9
2.3. Abordagem ecológica dinâmica.....	11
2.3.1. Psicologia Ecológica	12
2.3.1.1. Affordance.....	13
2.3.2. Graus de liberdade.....	14
2.3.3. Hierarquia das estruturas coordenativas.....	15
2.3.4. Modelo dos constrangimentos.....	17
2.3.5. Teoria dos Sistemas Dinâmicos.....	18
2.3.6. A variabilidade, estabilidade e complexidade dos movimentos.....	20
2.3.6.1. Variabilidade do Resultado	21
2.3.6.2. Variabilidade das estruturas coordenativas.....	22
2.3.7. Aprendizagens representativas e design de prática: condições para o <i>transfer</i> de habilidades motoras.....	23
2.4. Importância da visão na perspetiva ecológica dinâmica.....	23
2.4.1. Fluxo Ótico.....	24

2.5.	Principais divergências.....	25
2.6.	Bases para a análise dos movimentos dos olhos.....	26
2.6.1.	Estrutura e função do olho	27
2.6.2.	Terminologia e indicadores de análise dos movimentos dos olhos	29
2.6.3.	Investigação com Eye-trackers	32
2.6.3.1.	Medidas utilizadas para análise.....	32
2.6.3.2.	Técnicas não lineares para a análise da variabilidade na visão	33
2.7.	A visão na marcha, corrida e <i>trail</i>	36
2.8.	Corrida de <i>Trail</i> : conceito e investigação.....	41
2.8.1.	Conceito de Corrida de <i>Trail</i>	41
2.8.2.	Investigação na corrida de <i>trail</i>	43
2.9.	Definição das hipóteses de estudo.....	45
2.9.1.	Hipóteses de estudo	45
2.9.2.	Hipóteses estatísticas	46
CAPÍTULO III.....		47
METODOLOGIA		47
3.1.	Classificação do estudo	47
3.2.	Tipo de estudo	48
3.3.	Amostra.....	48
3.3.1.	Mortalidade da Amostra.....	48
3.4.	Consentimento informado.....	49
3.5.	Tarefa.....	49
3.6.	Variáveis	51
3.7.	Setup Experimental	51
3.8.	Organização Experimental e Procedimentos	52
3.8.1.	Avaliação de lactato.....	53

3.8.2.	Registo antropométrico e composição corporal.....	53
3.8.3.	Teste de Atenção Distribuída	54
3.8.4.	Perceção Subjetiva de Esforço	54
3.8.5.	Percurso de Indução de Fadiga.....	54
3.8.6.	<i>Eye Tracking Glasses</i>	56
3.8.7.	Procedimentos	57
3.9.	Tratamento dos Dados.....	59
3.9.1.	Codificação dos dados do ETG	59
3.9.2.	Variabilidade intra-observador.....	61
3.9.3.	Análise estatística linear	62
3.9.4.	Análise não linear.....	63
3.9.4.1.	Entropia Visual.....	64
3.9.4.2.	Entropia das transições de estado.....	64
3.9.4.3.	Entropia aproximada e Sample Entropy	65
3.9.4.4.	Expoente de Lyapunov.....	65
3.9.4.5.	Expoente de Hurst	65
CAPÍTULO IV.....		67
RESULTADOS.....		67
4.1.	Efeito da prova nos participantes.....	67
4.2.	Teste de Atenção Distribuída	71
4.3.	Análise qualitativa ao olhar na corrida.....	72
4.4.	Análise não linear	79
CAPÍTULO V		87
DISCUSSÃO		87

5.1. Efeito da prova nas variáveis fisiológicas dos participantes.....	87
5.1.1. Massa Corporal.....	89
5.1.2. Massa Gorda	89
5.1.3. Água Corporal Total	90
5.1.4. Concentração de lactato.....	91
5.1.5. Teste de atenção distribuída.....	92
5.1.6. Síntese do impacto da prova de <i>trail</i> nos participantes.....	93
5.2. Estratégias de busca visual.....	95
5.3. Variabilidade dos padrões de busca visual	99
5.3.1. Entropia dos movimentos sacádicos	103
5.3.1.1. Expoente de Lyapunov.....	104
5.3.1.2. Análise da Entropia	106
5.3.1.3. Expoente de Hurst.....	107
5.4. Discussão geral.....	108
5.5. Aplicações práticas	112
CAPÍTULO VI.....	113
CONCLUSÕES	113
6.1. Limitações	115
6.2. Recomendações.....	116
REFERÊNCIAS.....	119
APÊNDICE 1.....	147
APÊNDICE 2.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo representativo do papel da visão no controlo dos movimentos (Adaptado de Land, 2009).....	10
Figura 2: Representação esquemática das relações entre os diferentes níveis de construção dos movimentos (adaptado de Profeta & Turvey, 2018).	15
Figura 3: Modelo dos Constrangimentos de Newell (adaptado de Newell, 1986).	18
Figura 4: Representação esquemática do olho humano (adaptado de Holmqvist, et al., 2015).	27
Figura 5 : Musculatura responsável pelos movimentos dos olhos (adaptado de Holmqvist, et al., 2015).....	28
Figura 6: Exemplos de diferentes tipos de instrumentos utilizados para a Video-Oculografia: A – Torre para captura dos movimentos dos olhos a alta velocidade; B - Dispositivo de VOG remota, por infra-vermelhos (adaptado de SensoMotoric Instruments GmbH, 2014); C – óculos para captura dos movimentos dos olhos (ETG) (Laboratório Robocorp – IIA – IPC).	30
Figura 7: Esquema da pista de testes.	50
Figura 8: Pista de testes utilizada: A – vista de pormenor da parte acidentada da pista; B – vista geral da pista.	50
Figura 9: Percurso de treino para indução da fadiga.....	55
Figura 10: Gráfico de altimetria do percurso.....	56
Figura 11: Sistema de Eye Tracking Glasses utilizado para a recolha de dados provenientes dos movimentos dos olhos, composto pelos óculos e por um smartphone destinado ao armazenamento dos dados (Laboratório Robocorp – IIA – IPC).	57
Figura 12: Imagem de referência utilizada para proceder à codificação dos dados provenientes dos ETG.	60

Figura 13: Variação individual da concentração de lactato em atletas <i>experts</i> e não <i>experts</i>	69
Figura 14: Variação dos valores obtidos pelos participantes no teste de atenção distribuída.....	72
Figura 15: Padrão de amplitudes das sacadas (em graus) do participante número 5, não- <i>expert</i> , ao longo da pista, nas duas condições de prática.....	75
Figura 16: Padrão de amplitudes das sacadas (em graus) do participante número 14, <i>expert</i> , ao longo da pista, nas duas condições de prática.....	76
Figura 17: <i>Heat map</i> das sacadas do participante número 5, não- <i>expert</i> , na condição de repouso.	76
Figura 18: <i>Heat map</i> das sacadas do participante número 5, não- <i>expert</i> na condição de fadiga.....	77
Figura 19: <i>Heat map</i> das sacadas do participante número 14, <i>expert</i> na condição de repouso.	77
Figura 20: <i>Heat map</i> das sacadas do participante número 14, <i>expert</i> na condição de fadiga.....	78
Figura 21: Variação individual da entropia em atletas <i>experts</i> e não- <i>experts</i> , antes e depois do percurso de indução de fadiga.	79
Figura 22: Variação individual da entropia por volta, para cada grupo e condição de prática.....	80
Figura 23: Valores da Sample Entropy nos eixos x e y antes e depois do percurso de indução de fadiga, em atletas <i>experts</i> e não <i>experts</i>	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores típicos dos movimentos oculares mais comuns.....	31
Tabela 2: Quadro sinóptico de estudos sobre visão e locomoção.....	40
Tabela 3 – Valores de referência para a interpretação da dimensão do efeito através do <i>d</i> de Cohen.....	63
Tabela 4: Variação da composição corporal dos atletas <i>experts</i> por efeito da prova.....	68
Tabela 5: Variação da composição corporal dos atletas não <i>experts</i> por efeito da prova.....	68
Tabela 6: Comparação dos parâmetros da composição corporal de atletas <i>experts</i> e não <i>experts</i> na condição de repouso.	70
Tabela 7: Comparação dos parâmetros da composição corporal de atletas <i>experts</i> e não <i>experts</i> na condição de fadiga.....	70
Tabela 8: Média e Desvio Padrão da distância total percorrida, ritmo, e Percepção Subjetiva de Esforço dos atletas no percurso de <i>trail</i>	71
Tabela 9: valores médios obtidos pelos atletas no teste de atenção distribuída.....	71
Tabela 10: Comparação entre grupos do número médio de fixações por AOI e por volta, em ambas as condições.	73
Tabela 11: Duração média das fixações (em segundos) por AOI, para ambos os grupos e em ambas as condições.	74
Tabela 12: Comparação entre grupos, do número médio de fixações por AOI em ambas as condições.....	74
Tabela 13: Comparação entre grupos para a amplitude das sacadas.	78
Tabela 14: Comparação dentro dos grupos para a amplitude das sacadas.	78
Tabela 15: Comparação entre grupos, da entropia visual, na condição de repouso e de fadiga.	80

Tabela 16: Comparação dentro dos grupos, da entropia visual, na condição de repouso e de fadiga.....	81
Tabela 17: Comparação dos valores médios e diferenças entre grupos dos valores entropia e expoente de Lyapunov referentes às coordenadas xx e yy dos movimentos dos olhos, ao nível análise não linear feita às sacadas, na condição de repouso.....	82
Tabela 18: Comparação dos valores médios e diferenças entre grupos, ao nível da Sample Entropy e do expoente de Lyapunov referentes às coordenadas xx e yy dos movimentos dos olhos na condição de Fadiga.....	83
Tabela 19: Comparação dos valores entropia e expoente de Lyapunov referentes às coordenadas xx e yy dos movimentos dos olhos dos atletas <i>experts</i> , antes e depois do percurso de indução de fadiga.	83
Tabela 20: Comparação dos valores entropia e expoente de Lyapunov referentes às coordenadas xx e yy dos movimentos dos olhos dos atletas não <i>experts</i> , antes e depois do percurso de indução de fadiga.	84
Tabela 21: Comparação dos valores da análise não linear referente à análise do efeito da fadiga na amplitude das sacadas em <i>experts</i>	85
Tabela 22: Comparação dos valores da análise não linear referente à análise do efeito da fadiga na amplitude das sacadas em não- <i>experts</i>	85
Tabela 23: Comparação entre grupos dos valores da análise não linear referente ao padrão da amplitude das sacadas na condição de repouso.....	86
Tabela 24: Comparação entre grupos dos valores da análise não linear referente ao padrão da amplitude das sacadas na condição de fadiga.	86

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A visão é o principal mecanismo que o ser humano tem ao seu dispor para poder interagir com o meio envolvente (Land, 2009; Patla, 1997) e é uma das capacidades de que mais dependemos para exibirmos comportamentos motores de elevada *performance* (Lebeau et al., 2016). Esta relação entre visão e *performance* acontece e é estudada nos mais diversos domínios, desde o estudo dos padrões de visão dos tenistas de mesa, às estratégias visuais em condução automóvel (Land, 2006; Land & Furneaux, 1997; Lappi, Rinkkala, & Pekkanen, 2017; Ripoll, Fleurance, & Cazeneuve, 1987).

No âmbito do controlo motor, a visão assume um papel de relevo, onde a tarefa e o contexto em que o praticante está inserido são fatores determinantes para a definição da direção do olhar (Rothkopf, Ballard, & Hayhoe, 2007). As estratégias visuais adotadas pelo praticante são fruto da relação que emerge entre este e o ambiente, estando, portanto, intimamente ligada à manifestação de comportamentos de elevado desempenho (Manzanares, Menayo, & Segado, 2017; Murray & Hunfalvay, 2016; Williams, Davids, & Williams, 2005).

As relações entre a visão e a locomoção têm sido estudadas desde os trabalhos pioneiros de Lee e Lishman (1977) e do neurocientista Aftab Patla (1997, 2004), e tem continuado a receber a atenção da comunidade científica, particularmente no estudo dos temas da locomoção em terreno acidentado e em contextos naturais (Matthis, Barton, & Fajen, 2015; Matthis, Yates, & Hayhoe, 2018; Matthis & Fajen, 2014; Tatler, Hayhoe, Land, & Ballard, 2011; Zhao, Matthis, Barton, Hayhoe, & Sentis, 2017).

No domínio desportivo, o estudo das relações entre a perceção visual e a ação é um tema de relevância (Oliveira, 2016; Panchuk, Vine, & Vickers, 2015; Vickers, 2016; Williams, Davids, & Williams, 2005). A investigação centrada no comportamento da visão em tarefas desportivas tem sugerido a existência de padrões ótimos de busca visual, para qualquer nível de aprendizagem (Dicks, Button, Davids, Chow, & van der Kamp, 2016). Contudo, há uma especificidade destas estratégias e padrões (Decroix et

al., 2017; Dessing, Rey, & Beek, 2012; Machado, Cardoso, & Teoldo, 2017; Manzanares, Menayo, & Segado, 2017), pelo que não deve haver generalização daqueles que são considerados os padrões ótimos de cada modalidade desportiva.

Os padrões típicos dos *experts* são, em contextos desportivos, entendidos como os mais eficientes para a tarefa. Neste sentido, a investigação que se enquadre no paradigma dos *experts versus novatos* pode ser útil para a compreensão destes padrões e, portanto, importante para a melhoria dos gestos desportivos, particularmente nos atletas menos experientes (Komar, Seifert, & Thouvarecq, 2015; Mann, Williams, Ward, & Janelle, 2007; Seifert & Davids, 2017).

1.1. Pertinência do Estudo

A corrida de *trail*, é caracterizada por ser uma corrida de endurance e se desenvolver quase totalmente em terreno acidentado, com desníveis e declives acentuados (ATRP, 2018; Chase & Hobbs, 2010; ITRA, 2018). Neste contexto, a capacidade que estes atletas têm de “ler” o terreno com a antecipação necessária para poder manter ou alterar a sua trajetória de corrida em função das limitações e constrangimentos impostos pelo terreno é uma habilidade importante, não só para a manutenção da economia da corrida, mas também para evitar quedas e eventuais lesões. Neste sentido, importa perceber de que forma estes padrões e estratégias visuais são influenciados pelos diversos fatores que, de certa forma, constroem a sua prestação desportiva e, neste contexto, a fadiga, entendida como um dos principais fatores limitadores da *performance* (Easthope, 2013).

A corrida de *trail* provoca várias adaptações fisiológicas no contexto do desenvolvimento da locomoção (Giandolini, Pavailler, Samozino, Morin, & Horvais, 2015; ITRA, 2018; Scheer, Ramme, Reinsberger, & Heitkamp, 2018). Em sentido lato, o terreno acidentado induz alterações ao padrão biomecânico da corrida (Boey, Aeles, Schütte, & Vanwanseele, 2017; Creagh, Reilly, & Lees, 1998; Schütte et al., 2016; Sterzing, Apps, Ding, & Cheung, 2014; Voloshina & Ferris, 2015), pelo que as características deste tipo de terreno obrigam a uma estratégia por parte do atleta para

lidar com o trilho, antecipando o percurso a realizar em função das condições existentes, tanto para evitar lesões como para melhorar a *performance*.

A visão assume um papel preponderante na escolha do percurso de corrida, tal como o tem na marcha (Matthis et al., 2015; Patla, 1997, 2004; Turano, Yu, Hao, & Hicks, 2005; Wilkie & Wann, 2003; Zhao et al., 2017). No entanto, a avaliação quantitativa e qualitativa das estratégias visuais e dos padrões de busca de informação que precedem a manifestação física da trajetória de corrida escolhida ainda não foi estudada. Os estudos analisados centram-se no estudo da marcha e estão assentes fundamentalmente em contextos laboratoriais. Contudo, o *transfer* das inferências laboratoriais para o contexto real pode não ser viável neste tipo de estudos (t' Hart & Einhäuser, 2012) e apenas recentemente se iniciaram os estudos do género em ambiente natural (Matthis et al., 2018).

As teorias de Brunswik (1956) e de Gibson (Gibson, 1979) consubstanciam a necessidade de criar condições experimentais onde os estímulos representativos são retirados do ambiente natural do sujeito, permitindo-lhe respostas livres de quaisquer restrições funcionais. Neste sentido, o uso de sistemas móveis de rastreamento do olhar permite-nos aproximar os estudos dos contextos reais de prática, não interferindo com a atividade motora dos praticantes e dando-nos assim a possibilidade de analisar a informação visual resultante do movimento em contexto mais naturalístico, tal como tem sido prática recente em investigação nesta área, embora com tarefas distintas (Decroix et al., 2017; Klostermann & Küng, 2016; Lappi et al., 2017).

Assim, a compreensão dos mecanismos de antecipação que permitem ao atleta interpretar o terreno para adaptar posteriormente a sua ação em função das informações retiradas do mesmo assume-se como importante para a explicação da *performance* na corrida de *trail*. Do mesmo modo, importa perceber de que forma os comportamentos do atleta são afetados pelos constrangimentos que encontra durante uma prova, sendo a fadiga um dos fatores que influencia de forma mais determinante a prestação desportiva.

1.2. Objetivos do estudo

Perante o exposto, o principal objetivo deste estudo é analisar a importância da informação visual na corrida de *trail*. Pretende-se investigar a influência que o nível de experiência dos atletas tem nas estratégias de busca visual, assim como a influência da fadiga fisiológica neste processo.

Pretende-se com este trabalho analisar os seguintes aspetos:

- I) As diferenças estatísticas entre praticantes experientes e novatos nas estratégias de busca visual durante a corrida de *trail*;
- II) As diferenças estatísticas entre praticantes experientes e novatos nos processos cognitivos, expressos através dos padrões de movimentos dos olhos, que levam à interpretação do terreno;
- III) O efeito da fadiga nas estratégias de busca visual e nos padrões de movimentos dos olhos durante a corrida de *trail*.

Pretende-se compreender melhor como se processa a corrida em terreno acidentado e a forma como os atletas retiram a informação que emerge do ambiente. Nesta base, a inexistência de estudos deste género, reforça, tendo em conta a literatura da especialidade, a pertinência deste trabalho, quer pela sua capacidade de aproximar as condições laboratoriais às condições ecológicas quer pelo carácter inovador proveniente do design experimental e das técnicas de análise dos dados utilizadas.

Em suma, a análise da informação visual necessária para o planeamento da corrida em terreno acidentado permitirá perceber como a perceção/leitura do terreno é influenciada pelos constrangimentos individuais e da tarefa.

1.3. Organização do estudo

O presente trabalho encontra-se organizado em seis capítulos. O primeiro capítulo é composto pela introdução e pela apresentação dos objetivos gerais do estudo.

O segundo capítulo contempla a revisão da literatura, os objetivos e hipóteses definidas para o presente trabalho. São enquadrados os temas à luz das teorias do controlo motor, bem como são introduzidas as principais metodologias e métricas utilizadas em estudos de rastreamento do olhar, ligando-os à corrida de *trail*.

O terceiro capítulo apresenta e explica os métodos, materiais e procedimentos utilizados na operacionalização do presente estudo.

No quarto capítulo são apresentados os resultados do estudo. Os mesmos são divididos em três partes:

- i) resultados do efeito de prova de *trail* nos parâmetros de composição corporal e indicadores de fadiga;
- ii) resultados da análise linear feita às fixações e sacadas dos participantes, durante o percurso de testes;
- iii) resultados da análise não linear aos padrões de fixações e de movimentos dos olhos, durante o percurso de testes.

O quinto capítulo trata da discussão dos dados analisados. À discussão correspondente a cada uma das partes do capítulo da apresentação dos resultados foi adicionada uma quarta parte, correspondente a uma discussão geral dos dados, à luz da perspetiva ecológica-dinâmica.

Por fim, o sexto e último capítulo apresenta as conclusões do estudo, com respostas objetivas às hipóteses de estudo formuladas, bem como as limitações do trabalho e recomendações para estudos futuros.

CAPÍTULO II

REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo contextualiza os pressupostos teóricos que suportam este trabalho. São abordados os conceitos fundamentais para a compreensão dos termos, métricas e técnicas utilizadas. Em seguida, é realizado o estado-da-arte no que diz respeito ao problema de estudo e são enquadradas as opções metodológicas que foram utilizadas. Apresenta-se ainda sucintamente a modalidade desportiva sobre a qual se centrou o estudo, bem como as principais linhas de investigação na área. Por fim, são definidas as hipóteses de estudo para este trabalho.

2.1. Visão e percepção no controlo dos sistemas de movimento humano

A explicação dos processos conducentes ao controlo dos movimentos tem sido suportada maioritariamente em dois grandes paradigmas. Por um lado, as teorias cognitivistas clássicas enfatizam o papel dos processos cerebrais e da memória no controlo dos movimentos (Adams, 1971; Schmidt, 1975). A analogia entre o cérebro e um computador, no que diz respeito ao processamento e tratamento da informação ilustra a visão mecanicista dos processos de controlo motor (Magill, 2007).

Por outro lado, baseado no legado de Bernstein (1967) e Gibson (1979), um conjunto de investigadores tem sustentado, em sentido lato, a explicação do controlo do comportamento motor numa interação dinâmica entre organismo e ambiente, baseada na Teoria dos Sistemas Dinâmicos (e.g. Austin, 2001; Davids, Glazier, Araújo, & Bartlett, 2003; Kelso, 1995; Kuo, 2007; Whittall & Getchell, 1995), onde se defende que a *performance* desportiva resulta da emergência de padrões de movimentos que se auto-organizam em função da informação proveniente do ambiente (Araújo, 2006; Araújo, Davids, Chow, Passos, & Raab, 2009; Araújo, Hristovski, Seifert, Carvalho, & Davids, 2017).

Algo que ambas as perspectivas partilham é a atribuição de um papel fundamental à visão no controlo dos movimentos, entendendo-a como a principal fonte de informação necessária para a execução e controlo de todo o tipo de gestos, desportivos, locomotores ou gerais, presentes em todas as atividades do nosso dia-a-dia (Land, 2009; Lee & Lishman, 1977; Oliveira, 2016; Rienhoff, Tirp, Strauß, Baker, & Schorer, 2016; Warren, Kay, Zosh, Duchon, & Sahuc, 2001; Wilkie, & Wann, 2003).

Com o presente capítulo pretende-se apresentar os pressupostos teóricos que sustentam as Teorias Cognitivas Clássicas e a Teoria dos Sistemas Dinâmicos, demonstrando a forma como estas duas perspectivas interpretam o papel da visão no controlo dos movimentos, particularmente no controlo da locomoção.

2.2. Perspetiva Cognitivista

A perspetiva cognitivista assenta no pressuposto de que os programas motores têm pouca suscetibilidade de ser alterados em função das mudanças no ambiente. Neste caso, o processamento da informação tende a ocorrer em circuito fechado, dentro das estruturas do sistema nervoso central responsáveis pelo controlo dos movimentos (e.g. córtex motor).

O primeiro contributo cognitivista foi dado por Jack A. Adams, com a Teoria do Circuito Fechado (Adams, 1971), e assenta no pressuposto de que o controlo dos movimentos é realizado em circuito fechado (Closed-Loop Theory). De acordo com esta teoria, existem duas estruturas no cérebro que são responsáveis pelo controlo dos movimentos: a) o traço de memória, responsável pelos processos de parametrização da direção, sentido e intensidade do movimento e pela iniciação da resposta; b) o traço percetivo, responsável pela condução e avaliação do movimento, que o compara com a referência de movimento idealizada. O *feedback* é entendido como um mecanismo de retroalimentação do sistema motor, que permite a correção do erro da resposta ou produzir alterações ao movimento seguinte, aproximando progressivamente a sua execução a uma ideia pré-concebida de um determinado “gesto”, o programa motor (cf. Godinho, 2007; Magill, 2007; Tani et al., 2010).

Esta teoria apresenta um conjunto de limitações, nomeadamente no que diz respeito à explicação dos mecanismos subjacentes ao controlo dos movimentos balísticos como o serviço do ténis (Mendes et al., 2013), à contextualização do surgimento de movimentos novos, na explicação do papel do traço perceptivo e do traço de memória no controlo dos movimentos, ao papel do erro no processo de aprendizagem, e ao custo de armazenamento na memória de um programa motor por movimento.

Richard Schmidt procurou resolver algumas das limitações da Teoria do Circuito Fechado: a) A explicação do controlo de movimentos balísticos, que ocorrem sem a interferência do *feedback*; b) a produção de novos movimentos; c) a limitação, em termos de armazenamento, de programas motores. A Teoria do Esquema (Schmidt, 1975), cujo paradigma ainda hoje é explorado, introduziu dois conceitos-chave para o controlo dos movimentos. São eles o programa motor genérico e o conceito de esquema.

O programa motor genérico é uma estrutura abstrata da memória, responsável por promover a realização de uma classe de movimentos que partilhem características comuns e cuja execução se realize em circuito aberto (Godinho, 2007; Tani et al., 2010). O Esquema é uma construção genérica na memória, que contém informações sobre um conjunto de parâmetros que permitem ao sujeito, por um lado, especificar os parâmetros da resposta com base na informação disponível, por outro, avaliar os desvios entre o resultado obtido e o expectado, resultantes da execução da resposta.

Neste contexto, a visão é vista como um processo fundamental para a seleção do programa motor adequado e, a partir daqui, para executar os eventuais reajustamentos do programa motor à tarefa, de acordo com o esquema previamente selecionado (Land, 2009; Land & Furneaux, 1997).

2.2.1. Controlo da visão na linha da perspectiva cognitivista

A perspectiva cognitivista atribui um papel fundamental à visão, uma vez que esta é controlada pelo cérebro, com instruções para seleccionar os alvos que serão percecionados para a execução da tarefa (Land & Hayhoe, 2001). A tarefa, por seu turno,

também assume um papel importante e influencia a estratégia visual do sujeito (Hayhoe & Ballard, 2005; Rothkopf et al., 2007).

A Figura 1 esquematiza as relações entre visão e o olhar no controlo dos movimentos. Para Land (2009), o papel da visão no controlo dos movimentos é consubstanciado na sua influência em três sub-sistemas:

- i) O sistema do olhar (*gaze system*), que é responsável por localizar e fixar os objetos ou eventos relevantes para a tarefa;
- ii) O sistema motor, responsável por realizar a tarefa;
- iii) O sistema visual, que fornece informação sobre os dois anteriores.

O quarto componente deste modelo é o esquema. Este assume um papel de governador que planeia e comanda a sequência de ações necessárias para a prossecução do objetivo da tarefa.

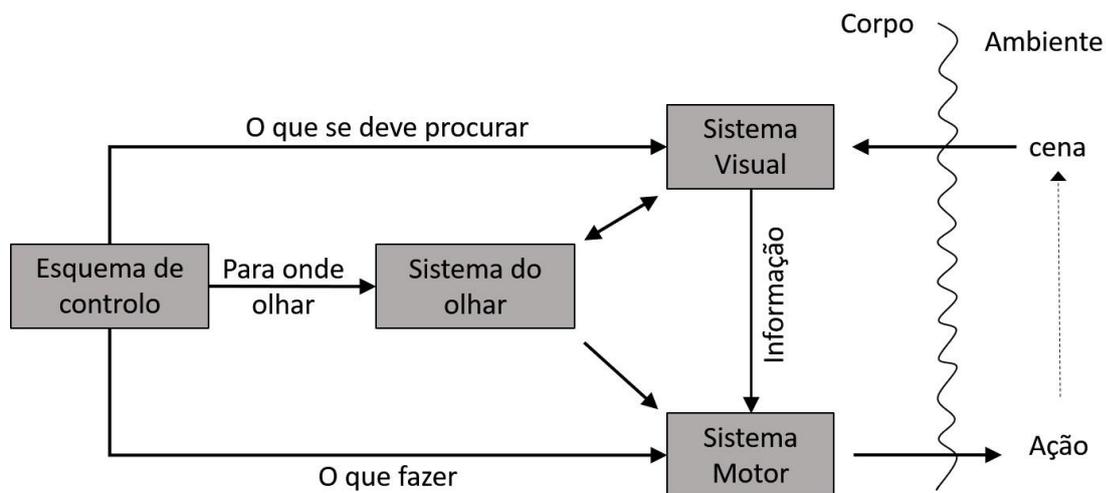


Figura 1: Modelo representativo do papel da visão no controlo dos movimentos (Adaptado de Land, 2009).

O papel da visão no controlo dos movimentos desportivos e da *performance* desportiva tem sido amplamente estudado dentro da perspetiva cognitivista. Neste âmbito, salientam-se os estudos iniciais com batedores de Cricket (Land & McLeod, 2000) e com jogadores de ténis de mesa (Ripoll et al., 1987), onde se encontrou um padrão antecipativo do olhar.

Para os defensores da abordagem cognitivista, o olhar precede a ação, reforçando a ideia de que o controlo dos movimentos ocorre em regime de processamento “*top-down*”, onde os processos volitivos assumem um papel primordial (Dogusoy-Taylan & Cagiltay, 2014; Gonzalez et al., 2015; Hayhoe & Ballard, 2005; Jovancevic-Misic & Hayhoe, 2009; Williams et al., 2005).

Na mesma linha, alguns estudos à luz do conceito de “*Quiet-Eye*” (QE) [para uma revisão aprofundada, consultar Lebeau et al., (2016) e Vickers, (2016)] têm reforçado o papel das estruturas cognitivas no planeamento da ação, uma vez que é durante o período de QE que as redes neuronais se organizam para o controlo dos movimentos (Vickers, 2009). No estudo de Williams, Singer e Frehlich (2002) verificou-se, por exemplo, que os jogadores de bilhar experientes tinham uma duração de QE mais longa do que os novatos, e que a duração do QE aumentava em função do nível de dificuldade da jogada para ambas as classes de jogadores. No mesmo estudo (Williams et al., 2002), constatou-se que a *performance* dos participantes diminuía em qualquer dos níveis de dificuldade da jogada, se lhes fosse restringido o tempo de QE. Neste sentido, o tempo de QE representa, à luz da interpretação cognitivista, o tempo necessário para processar a informação que está a ser fixada ou seguida e para focalizar a atenção nas necessidades da tarefa (Vickers, 2009).

2.3. Abordagem ecológica dinâmica

O modelo ecológico dinâmico sustenta uma abordagem científica ao estudo do comportamento dos sistemas neurobiológicos, particularmente no que diz respeito aos processos de perceção, ação e cognição (Kugler, Kelso, & Turvey, 1980). Este modelo emerge da Teoria de Constrangimentos de Karl Newell (Newell, 1986) e das *Affordances* de Gibson (1979), que se sustentaram no trabalho de Bernstein (1967). Segundo Kugler, Kelso e Turvey (1980), a abordagem ecológica representa uma aproximação multidisciplinar ao estudo dos sistemas vivos, dos seus ambientes e da reciprocidade que evolui da interação entre estes. Esta abordagem tem como objeto de estudo, portanto, as transferências de informação entre organismos vivos e o ambiente, especialmente no que diz respeito à perceção de situações de significância para o planeamento e execução de ações nesse mesmo ambiente.

A perspectiva ecológica dinâmica tem procurado analisar e fornecer uma orientação sistemática para a análise do comportamento humano, tanto durante a sua fase de aprendizagem e desenvolvimento como para a análise da *performance*, entendendo os praticantes como sistemas dinâmicos adaptativos complexos (Davids et al., 2014). Esta linha de pensamento tem recolhido conceitos provenientes da psicologia ecológica e da dinâmica não-linear, ampliando desta forma as fontes de onde o conhecimento sobre a *performance* e a aprendizagem de movimentos desportivos podem surgir (van Emmerik, Ducharme, Amado, & Hamill, 2016).

Perante o exposto, importa apresentar os principais pressupostos das teorias que sustentam este modelo, nomeadamente a Psicologia Ecológica, com as *Affordances* de Gibson (1979), o modelo de Constrangimentos de Newell (1986) e a Teoria dos Sistemas Dinâmicos.

2.3.1. Psicologia Ecológica

Um aspeto fundamental da perspectiva ecológica dinâmica é a Teoria da Perceção Direta de Gibson (1979), salientando as interações contínuas entre o organismo e o ambiente como uma escala fundamental de análise para a compreensão do movimento humano. A contínua regulação do comportamento é baseada, então, no papel da informação (e.g., ótica, háptica, auditiva ou proprioceptiva) que emerge do sistema indivíduo-ambiente e que permite guiar os comportamentos.

Esta conceptualização da informação difere substancialmente das perspectivas psicológicas tradicionais, que veem os sistemas sensoriais como recolhedores de informação de um ambiente que, por sua vez, é visto como ambíguo, empobrecido e que carece de interpretação, recorrendo para tal a processos cognitivos como a memória, a atenção e a antecipação, e tem-se afirmado na área das Ciências do Desporto (Araújo, 2006).

Contrariamente, na visão da Psicologia Ecológica Gibsoniana os sistemas biológicos olham para o ambiente como um todo, entendendo-o como um meio de ordenamento do comportamento. Mais especificamente, a estrutura e propriedades físicas do ambiente, a biomecânica do corpo, a informação percetual sobre o estado do

sistema individuo-ambiente, e as características da tarefa, todas atuam como constrangimentos ao comportamento. O comportamento adaptativo, ao invés de ser imposto por uma estrutura pré-existente, emerge desta confluência de constrangimentos, dentro das condições definidas para uma determinada tarefa ou objetivo resultante (Araújo et al., 2009; Davids, Araújo, Vilar, Renshaw, & Pinder, 2013; Davids, Button, & Bennet, 2008; Seifert, Araújo, Komar, & Davids, 2017; Warren, 2006).

A Teoria da Percepção Direta de Gibson propõe que a percepção é uma ação, um processo ativo, onde os sistemas perceptivos e de ação funcionam de forma altamente integrada e cíclica (cf. Gibson, 1979). Um conceito chave da psicologia ecológica, que trataremos de seguida, é o das *Affordances*, que são entendidas como oportunidades ou convites à ação, presentes no ambiente envolvente do sujeito, e que este fica habilitado a perceber através da experiência e dos processos de aprendizagem (Fajen, Riley, & Turvey, 2008; Gibson, 1979).

Com prática e experiência suficiente, tanto o indivíduo como o ambiente de prática se podem tornar mais integrados e ser entendidos como sistemas dinâmicos e auto-organizados, acoplados pela informação recolhida (Warren, 2006). Nestes sistemas complementares, os comportamentos intencionais emergem de um processo de exploração e de aprendizagem antes de serem estabilizados em padrões de ação funcionais (Fajen et al., 2008; Warren, 2006). Deste modo, num ambiente de prática, as fontes de informação que constroem os comportamentos do indivíduo de forma mais significativa são as *Affordances*, que fornecem oportunidades para a ação e são influenciadas pela percepção individual das relações funcionais do indivíduo com o ambiente de prática (Araújo et al., 2017; Baker & Farrow, 2015; Fajen et al., 2008; Gibson, 1979; Williams et al., 2005).

2.3.1.1. *Affordance*

O conceito de *Affordance* fornece uma via para a compreensão de como os processos de percepção e ação funcionam em sistemas adaptativos complexos, dado que, no âmbito da perspetiva Gibsoniana, a percepção é um convite à ação, e a ação é um componente fundamental da percepção (Gibson, 1979). As *Affordances* são definidas, portanto, pelas relações de complementaridade entre o indivíduo e o ambiente. São ao

mesmo tempo objetivas e subjetivas para cada praticante, dado que elas são propriedades ecológicas emergentes do ambiente, que são selecionadas em relação a um indivíduo (Turvey & Shaw, 1999; Withagen, de Poel, Araújo, & Pepping, 2012).

No fundo, o ambiente é composto por propriedades físicas e o indivíduo é composto por possibilidades de ação mensuráveis. As *Affordances* existentes num determinado ambiente são especificadas num referencial individual, em função das características e experiências de cada um. Elas são percebidas relativamente às propriedades relevantes do indivíduo, incluindo a escala das suas dimensões corporais, ou seja, as *Affordances* são adaptadas à escala corporal do praticante (body-scaled) (Araújo et al., 2009; Davids, Button, Araújo, Renshaw, & Hristovski, 2006; Davids et al., 2003; Fajen et al., 2008).

De um ponto de vista Gibsoniano, a aprendizagem envolve a seleção de *Affordances*. Gibson (1979) defende que todos os organismos percebem as *Affordances* que podem constranger ou limitar as suas ações. Estas dependem do indivíduo e estão baseadas no conhecimento que este tem de um determinado ambiente de prática, que lhe permite selecionar as *Affordances* relevantes para a prossecução do objetivo da tarefa. O aumento do nível de proficiência numa tarefa ocorre fruto de uma crescente sintonização com as *Affordances* disponíveis (Araújo et al., 2017; Fajen et al., 2008; Pezzulo & Cisek, 2016; Withagen et al., 2012).

2.3.2. Graus de liberdade

A obra do neurocientista Russo Nikolai Bernstein, aliada ao trabalho de Gibson, permitiu lançar as bases para a formulação da Teoria dos Sistemas Dinâmicos que foi posteriormente desenvolvida por um conjunto de cientistas, dos quais destacamos Davids (2008), Kelso (2012) e Turvey (1990).

Nos seus trabalhos sobre a coordenação motora e a estrutura dos movimentos, Bernstein (1967) postula que a aquisição dos padrões coordenativos de movimento é um processo de redução do número de graus de liberdade, por forma a que seja possível o aumento do seu nível de controlo. Em termos cinemáticos, por exemplo, estima-se que o aparelho esquelético tenha 244 graus de liberdade [Zatsiorsky (1998), como referido

em Li, (2006)]. Além disso, Basdogan e Amirouche (1996), utilizaram a abordagem dos Sistemas Dinâmicos para modelar a marcha, tendo identificado cinco graus de liberdade possíveis para o membro inferior. No que diz respeito ao olhar, o olho apresenta três graus de liberdade (Latash & Zatsiorsky, 2001).

O organismo possui mais graus de liberdade do que os que são necessários para o controlo de uma determinada tarefa, pelo que, tendencialmente, o sucesso na mesma passa por encontrar uma estratégia de redução dos graus considerados redundantes (Latash, Scholz, & Schöner, 2007; Latash & Zatsiorsky, 2001). Uma estratégia passível de utilização é o “congelamento” de graus de liberdade, como defendido por Newell (Newell, 1991) para as fases iniciais do processo de aprendizagem. A outra forma de redução dos graus de liberdade passa pelo estabelecimento de relações entre os mesmos, uma estratégia sinérgica, defendida por Bernstein (Bernstein, 1967; Profeta & Turvey, 2018; Turvey, 1990).

2.3.3. Hierarquia das estruturas coordenativas

O modelo de organização do movimento de Bernstein (1967) preconiza quatro níveis de controlo dos graus de liberdade do movimento, que se relacionam entre si, contribuindo para um controlo hierárquico da construção dos movimentos (Figura 2).

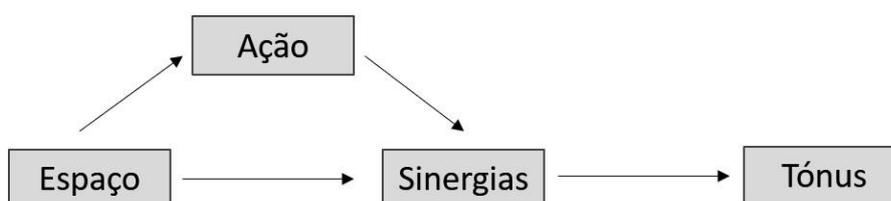


Figura 2: Representação esquemática das relações entre os diferentes níveis de construção dos movimentos (adaptado de Profeta & Turvey, 2018).

No modelo de Bernstein (1967), cada um dos níveis resolve uma classe específica de problemas da construção dos movimentos. Através das relações esquemáticas presentes no modelo e apresentadas na figura 2, identificamos uma

direccionalidade das interações para o nível do Tónus, que é o primeiro nível, e o de mais baixa ordem. É aqui onde ocorre a comunicação entre o sistema nervoso e o muscular. A sua principal função é a de preparar o aparelho locomotor para responder de forma adequada aos comandos provenientes das estruturas superiores do controlo do movimento, garantindo níveis adequados de excitabilidade dos motoneurónios e criando condições para que o movimento ocorra de forma rápida e eficiente (Profeta & Turvey, 2018).

A um segundo nível, temos o nível das Sinergias, que coloca constrangimentos aos graus de liberdade do aparelho locomotor e garante coerência dos movimentos através do controlo dos grandes grupos musculares. As sinergias são formadas através do influxo de informação propriocetiva acerca do estado geral do corpo. Este nível atua nos bastidores da organização do movimento, corrigindo os detalhes dos movimentos ou formando padrões de coordenação no segmento ou entre segmentos corporais, garantindo desta forma que o sistema se mantém estável (Latash, Gorniak, & Zatsiorsky, 2008). A este nível, não há informação dos sistemas visuais ou auditivos, pelo que se cinge à componente mecânica do movimento (Turvey & Carello, 1996).

O terceiro nível é o do Espaço. Este nível refere-se à forma como fazemos movimentos intencionais em função do ambiente envolvente. É ao Nível do Espaço que o organismo recebe informação acústica, háptica e ótica sobre o envolvimento, para a construção de uma perceção do espaço baseada nestas fontes sensoriais e alicerçada nas experiências prévias do sujeito, construindo a noção de campo espacial. Esta noção de campo espacial assume uma dupla função: a perceção objetiva das relações entre o corpo e o espaço (as relações de movimento de objetos que possam estar presentes no envolvimento do sujeito, por exemplo), e a capacidade que esse corpo tem para usar o espaço a favor das suas intenções. O campo espacial suporta então: a) classes de movimentos que envolvem o deslocamento do corpo ou dos seus segmentos no espaço, b) classes de movimentos que envolvem a manipulação de objetos (Profeta & Turvey, 2018). Decorrente destas possibilidades de ação, verificamos que os comportamentos antecipatórios são, de acordo com esta perspetiva, controlados no Nível do Espaço.

O nível da Ação é o quarto desta hierarquia. É responsável por controlar as sequências de movimentos quando são necessários vários passos para a resolução de um problema. Segundo esta definição, a ordem dos elementos numa sequência é

importante para a prossecução do objetivo da ação, dado que cada movimento individual providencia uma resposta intermédia a um aspeto específico do movimento em decurso. Para além disto, existe mais do que uma forma de atingir um objetivo de movimento, através da organização dos vários elementos de diferentes formas, assegurando assim flexibilidade neste nível e proporcionando uma grande variedade de configurações que podem funcionar para a resolução de um determinado problema. Este facto enfatiza uma característica importante das ações: o significado das partes, os papéis que cada uma desempenha podem apenas ser definidos e compreendidos no contexto da unidade funcional de que fazem parte (Profeta & Turvey, 2018).

Recentemente Profeta e Turvey (2018), apresentaram uma visão mais contemporânea da aplicação da hierarquia dos níveis de construção dos movimentos de Bernstein à perspetiva ecológica-dinâmica, reinterpretando-os e sugerindo que não existe concretamente o Nível das Sinergias. As Sinergias são consideradas, segundo os autores supracitados, abstrações nos vários níveis de análise, que emergem espontaneamente devido aos constrangimentos materiais e informacionais da tarefa. Ao nível comportamental, estes constrangimentos são impostos pelos restantes níveis de análise defendidos por Bernstein (1967) e, por seu turno, as sinergias são elementos constrangedores destes níveis.

2.3.4. Modelo dos constrangimentos

A abordagem dinâmica-ecológica defende que a escala relevante para a análise do comportamento motor é a da relação entre o praticante e o ambiente (Davids et al., 2013) e é da interação entre o último e os diversos componentes do primeiro, que emergem os padrões de coordenação dos movimentos (Davids et al., 2008; Kelso, 1995).

Newell (1986) define três tipos de constrangimentos (Figura 3), nomeadamente: i) ambientais, ii) da tarefa e iii) individuais. Esta abordagem permite compreender a forma como os padrões coordenativos emergem para dar resposta às necessidades da tarefa.

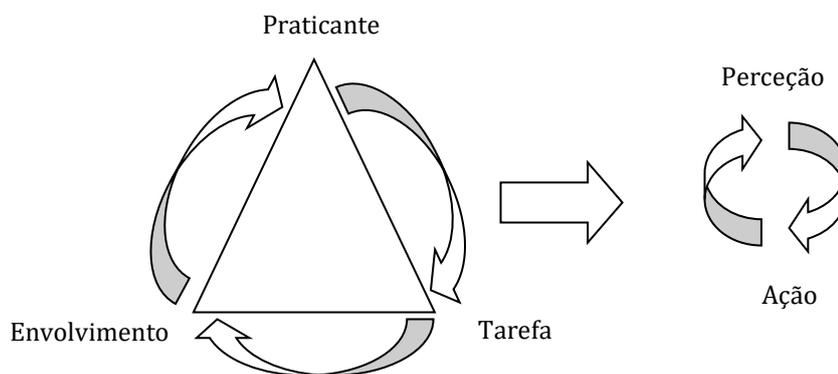


Figura 3: Modelo dos Constrangimentos de Newell (adaptado de Newell, 1986).

Os constrangimentos individuais são estruturais ou funcionais, e referem-se às características (e.g., genéticas, antropométricas, cognitivas, motivacionais ou emocionais) do praticante. Este conjunto de características únicas são recursos à disposição do praticante que lhe permitem abordar o problema em questão e encontrar uma solução única e individualmente adaptada (Davids et al., 2008).

Os constrangimentos ambientais são externos, representando as diferentes condições ou constrangimentos (e.g., temperatura, humidade, altitude, entre outros) que o ambiente “coloca” à execução da tarefa. Nesta ótica, as características do terreno num trilho de corrida de *trail* são exemplos desta categoria de constrangimentos. A inclinação do terreno, por exemplo, obriga a que o atleta adapte o seu padrão de corrida em função do sentido (i.e., ascendente ou descendente) da corrida.

Finalmente, os constrangimentos da tarefa incluem o objetivo da mesma, as regras, instruções ou especificidades do equipamento. Na corrida de *trail*, por exemplo, uma prova em regime de autossuficiência afeta a forma como o atleta corre, já que obriga a que carregue mais equipamento com ele, alterando, portanto, a sua *performance*. Os constrangimentos da tarefa limitam externamente, por via da imposição de limitações “artificiais”, as possibilidades de ação ao dispor do praticante.

2.3.5. Teoria dos Sistemas Dinâmicos

A compreensão da forma como a informação está relacionada com a dinâmica de um ambiente de prática tem beneficiado da integração dos conceitos da dinâmica não

linear. A Teoria dos Sistemas Dinâmicos (TSD) fornece um enquadramento conceptual para a compreensão da emergência das tendências de coordenação que existem entre, e dentro dos componentes de um sistema e níveis de sistemas neurobiológicos complexos, como são exemplo as relações entre jogadores dentro de equipas no contexto dos desportos coletivos (Araújo et al., 2009, 2017, Davids et al., 2013, 2006; Seifert & Davids, 2017), mas também sobre o desenvolvimento e o controlo da locomoção (Austin, 2001; Clark, Trully, & Phillips, 1990; Stachowski & Lowski, 2016; Whitall & Getchell, 1995).

Os princípios físicos e os conceitos dos sistemas não lineares e auto organizativos explicam as dinâmicas de coordenação como um processo natural, de formação de padrões, em sistemas neurobiológicos. Partindo deste pressuposto, a Teoria dos Sistemas Dinâmicos procura explicar e prever como emergem os padrões de coordenação e como eles se adaptam, persistem e mudam. No fundo, permite perceber como um determinado padrão persiste num ambiente em mudança - *a sua estabilidade* - e como este se ajusta às alterações do sujeito ou do ambiente - *a sua adaptabilidade* (cf. Kelso, 1995). Assim, a organização dos sistemas neurobiológicos tende a ser facilitada e ligada através de um conjunto de constrangimentos que interagem entre si e que formam a dinâmica dos comportamentos emergentes (Newell, 1986).

Como verificámos anteriormente, os constrangimentos ao comportamento preconizados pelo modelo defendido por Newell (1986) incluem fatores relacionados com a tarefa, com o ambiente e com as características do executante. A natureza imprevisível do ambiente e as diferenças individuais inerentes às características pessoais e funcionais dos atletas indicam que existe um número indeterminado de soluções para a maioria das tarefas desportivas. Esta ideia sublinha uma causalidade circular na relação entre o indivíduo e o ambiente, mediado pelo cérebro e pelo comportamento, e os processos de perceção e ação (Araújo et al., 2017; Fajen et al., 2008; Sternad, 2000; Warren, 2006). A causalidade entre o cérebro e o comportamento e entre os processos da perceção e ação não é linear, mas cíclica, à medida que o indivíduo constrói continuamente interações com o ambiente. De acordo com esta perspetiva, o nível de experiência é o resultado de uma adaptação funcional contínua dos comportamentos a um conjunto de constrangimentos que interagem entre si, em função da prossecução de um determinado objetivo de *performance* (Seifert, Button, & Davids, 2013).

Um conceito-chave na TSD é o de atrator. Para Araújo (2006), os atratores contribuem para a formação de padrões ao atrair as partes dinâmicas do sistema. São “...estados funcionais atratores onde o sistema se poderá fixar” (Araújo, 2006, p. 76). No contexto do movimento humano, um atrator pode corresponder a um estado de coordenação e equilíbrio entre as partes do organismo que contribuem para atingir com sucesso um determinado objetivo, seja ele a locomoção, corrida ou o equilíbrio (Williams et al., 2005).

Um aspeto relevante para a compreensão dos padrões coordenativos são as variáveis coletivas, ou parâmetros de ordem, uma vez que fornecem informações sobre o ponto de equilíbrio do sistema, ou seja, sobre a variabilidade do mesmo. Níveis baixos de estabilidade são indicadores de que os atratores do sistema são fracos e, em função da situação, a transição de fase poderá ocorrer (Kelso, 1995).

2.3.6. A variabilidade, estabilidade e complexidade dos movimentos

A variabilidade inerente aos sistemas de movimento humano tende a ser considerada uma manifestação criativa do movimento humano, que emerge das possibilidades que são apresentadas ao praticante pelo ambiente (Orth, van der Kamp, Memmert, & Savelsbergh, 2017). O conhecimento sobre o papel funcional da variabilidade dos movimentos é fundamental para a compreensão da *performance* em indivíduos *experts* (Davids et al., 2013, 2003; Dias et al., 2015; Newell, 1986). O estudo do papel funcional da variabilidade dos movimentos envolve a avaliação do comportamento adaptativo através da análise do equilíbrio entre a manifestação de comportamentos persistentes e comportamentos variáveis ou exploratórios, e na relação destes com o contexto de prática (Davids et al., 2003; Komar et al., 2015; Seifert et al., 2013; van Emmerik et al., 2016).

Do ponto de vista dos sistemas dinâmicos, há dois tipos de variabilidade (van Emmerik et al., 2016): i) variabilidade do resultado e ii) variabilidade das estruturas coordenativas.

2.3.6.1. Variabilidade do Resultado

A variabilidade do resultado diz respeito ao produto, i.e., ao *output* final do gesto, onde os melhores executantes tendem a obter uma menor variabilidade. Para Kelso (2012), a aprendizagem de um determinado movimento ou tarefa pode significar a aquisição de um novo padrão de comportamento, que persiste no tempo. Há então, segundo a TSD, uma “competição” entre fatores que atraem e potenciam a manifestação de um determinado padrão, i.e., atractores, e fatores que repelem esse mesmo padrão, gerando manifestações comportamentais dispare. A estabilidade de um sistema refere-se a um comportamento resiliente, que resiste à mudança provocada por uma perturbação no padrão estável de um atractor (van Emmerik et al., 2016). O processo de aprendizagem pode ser entendido, portanto, como a passagem de padrões de comportamento instáveis para padrões mais estáveis.

Kelso (2012) refere que a meta-estabilidade é a realização simultânea de duas tendências que competem entre si. Por um lado, há a tendência que os elementos têm em se acoplar, por outro, a tendência que os elementos têm em exibir os seus comportamentos intrínsecos. Num nível de *performance* meta-estável, as tendências de independência dos componentes coexistem, explicando, desta forma, a multiplicidade da emergência de movimentos em contextos dinâmicos, em função dos constrangimentos da tarefa (Hristovski, Balagué, Zivkovic, Aleksovska-Velickovska, & Naumovski, 2012; Kibele, Granacher, Muehlbauer, & Behm, 2015).

A aprendizagem de gestos motores desportivos dá exemplos de estados de meta-estabilidade, na medida em que o praticante adapta os seus comportamentos motores no sentido da prossecução de um determinado objetivo. Estas mudanças contínuas dos comportamentos motores podem resultar num mero refinamento do padrão adaptativo, ou seja, um reforço do comportamento estável já adquirido, ou na adoção de uma nova forma de comportamento. Há alguma evidência de meta-estabilidade na *performance* em desportos como o Boxe e Cricket (Hristovski, Davids, Araújo, & Button, 2006; Pinder, Davids, & Renshaw, 2012; Seifert, Boulanger, Orth, & Davids, 2015), onde a distância a que o executante se encontra do alvo gera comportamentos díspares em diferentes sujeitos. No entanto, estes estudos descobriram

uma zona intermédia, meta-estável, onde todos os participantes exploram uma variedade de movimentos.

No que à corrida diz respeito, as regiões meta-estáveis são fundamentais para que se dê a transição de uma região estável do movimento (fase de apoio) para outra, passando por um momento de instabilidade. Sem essa instabilidade, o corpo não se moveria de um estado estável para outro (Kibele et al., 2015).

2.3.6.2. Variabilidade das estruturas coordenativas

A variabilidade das estruturas coordenativas assume um papel importante na formação de padrões de movimentos adaptáveis. Deste ponto de vista, a realização de uma tarefa pode ser feita de diferentes formas, utilizando graus de liberdade diferentes. Este tipo de variabilidade está, portanto, associado à utilização de diferentes formas de realização de uma mesma tarefa. Ao contrário da variabilidade do resultado, uma maior variabilidade coordenativa é um indicador de *performance* (Couceiro et al., 2014; Davids et al., 2003; van Emmerik et al., 2016).

Em suma, as propriedades fundamentais dos sistemas dinâmicos complexos influenciam a formação de padrões comportamentais estáveis (i.e. atratores); as transições não-lineares de um atrator para outro (transições de sistema ou bifurcações, histerese, abrandamento crítico); multi-estabilidade (a habilidade para transitar entre múltiplos estados de organização quando sujeito a diferentes constrangimentos); meta-estabilidade (a capacidade de explorar tendências de coordenação coexistentes em regiões de transição de fase ou em regiões instáveis); e a variabilidade, entendida como a exploração de flutuações críticas que permitem transições comportamentais adaptativas que levem à melhoria da *performance* (Ducharme & van Emmerik, 2018; Hristovski et al., 2012; Seifert & Davids, 2017).

2.3.7. Aprendizagens representativas e design de prática: condições para o *transfer* de habilidades motoras

Na perspectiva ecológica dinâmica o conceito de design representativo está na base da organização de ambientes, tanto de aprendizagem, como experimentais, de forma a que as observações e a aquisição das habilidades possam ser ligadas aos comportamentos funcionais emergentes de um determinado contexto de prática (Pinder, Davids, Renshaw, & Araújo, 2011).

Esta ideia fornece uma linha orientadora para o desenvolvimento de constrangimentos ecológicos que melhor reflitam as interações contínuas entre atleta e o ambiente, bem como a função da variabilidade durante estas interações. Por exemplo, ao manipular um constrangimento ambiental, através da manipulação da posição das pegas numa parede de escalada, Seifert *et al.* (2015) verificaram que os escaladores manifestavam uma variedade maior de posicionamentos da mão e do tronco na abordagem às mesmas, revelando que o escalador explora uma variedade maior de padrões motores quando se encontra numa região de meta-estabilidade. A criação de ambientes de prática que explorem a região meta-estável da *performance*, como demonstraram Seifert *et al.* (2015), traduziu-se numa maior adaptabilidade do praticante às mudanças, permitindo que, ao assegurar que a cognição, a percepção e a ação fossem utilizadas para regular o comportamento num determinado contexto de prática, as respostas pudessem ser generalizáveis e passíveis de sustentar a *performance* em outros contextos.

2.4. Importância da visão na perspectiva ecológica dinâmica

A capacidade de interpretação de uma determinada situação e a decisão pela ação mais apropriada está dependente da visão. É esta que nos permite interagir com o meio envolvente e é uma das capacidades de que mais dependemos para nos locomovermos, sendo este sentido um elemento central na perspectiva Gibsoniana.

No âmbito da corrente ecológica-dinâmica, a informação relevante para a tomada de decisão e para a regulação da ação em ambientes dinâmicos emerge

continuamente das interações entre o ambiente e o sujeito (Davids et al., 2013). É através da interação entre esta e o ambiente (entre outros fatores) que o movimento emerge, estando em permanente avaliação e adaptação, em função dos constrangimentos emergentes (Warren, 2006). A visão, segundo este modelo, pertence ao conjunto dos sentidos responsáveis por providenciar informação perceptiva sobre o ambiente. Neste sentido, os padrões visuais emergem da relação do sujeito com o ambiente, estando intimamente ligadas à interpretação que o primeiro faz deste. Ao contrário da perspectiva cognitivista, o processamento da informação para a organização da ação dá-se no sentido “*bottom-up*” (Bernardin et al., 2012; Oliveira, 2016; Tani et al., 2010).

O papel da visão no desporto tem sido amplamente estudado à luz desta visão ecológica dinâmica e, à semelhança da perspectiva cognitivista, também o QE é objeto de pesquisa e interpretação. Do ponto de vista ecológico dinâmico, o QE otimiza o fluxo ótico e permite uma melhor orientação do participante em relação ao ambiente. Uma fixação prolongada ajuda o praticante, ao fornecer atualizações contínuas e subconscientes do estado da relação deste com os objetos no ambiente, permitindo que o praticante consiga estimar de forma mais precisa a força, direção e velocidade necessárias para executar a tarefa com sucesso (Oudejans, Koedijker, Bleijendaal, & Bakker, 2005).

2.4.1. Fluxo Ótico

Para Gibson (1979), as variáveis óticas utilizadas para o controlo dos movimentos referem-se às propriedades da luz refletida pelas superfícies e objetos disponíveis para interação com o sistema visual do praticante. Estas podem ser sobre a textura e gradientes de densidade do ambiente, a direção de movimento de um determinado objeto, a distância ao observador ou o tempo que decorre do ponto de observação ao ponto de contacto (Williams et al., 2005). Uma vez que esta informação está calibrada de forma individual, em função do sistema resultante da interação indivíduo-ambiente, as variáveis óticas são caracterizadas pelas possibilidades de ação, ou *Affordances*, que elas oferecem a cada indivíduo (Gibson, 1979). A informação que especifica estas *Affordances* está disponível nas invariantes dos padrões espaço-

temporais referentes à posição do participante. No seu habitat natural existe uma relação invariante entre as propriedades das superfícies e objetos considerados importantes e a estrutura espaço-temporal da informação ótica que chega à retina do sujeito.

Gibson (1950), introduz o conceito de “Optic Flow”, ou fluxo ótico, definindo-o como o padrão de aparente movimento dos objetos no ambiente, causado pela movimentação relativa do sujeito nesse mesmo ambiente. Quando ele se move, ocorre um fluxo ótico translacional específico, um padrão criado que é o reflexo da luz refletida por estas superfícies na retina. A especificidade deste fluxo ótico permite ao observador confiar nos padrões dinâmicos da reflexão da luz para suportar as ações. A vantagem que estas invariantes óticas têm sobre outras variáveis físicas prende-se com o facto de, quando confrontadas com superfícies ou objetos novos, o sujeito continuar a poder retirar as *Affordances* e especificar as ações necessárias à condução da tarefa com sucesso (Williams et al., 2005).

As mudanças de fluxo ótico durante a ação são, portanto, fundamentais para se saber a direção que o sujeito está a tomar, ao mesmo tempo que fornece pistas sobre o ambiente (Royden, Banks, & Crowell, 1992; Warren & Fajen, 2004; Warren & Hannon, 1988; Warren et al., 2001). A expansão radial do fluxo ótico, fazendo parecer ao sujeito que os objetos mais próximos se movem mais depressa do que os que estão mais afastados (Gibson, 1950; Wurtz, 1998) permite que se perceba apenas através do fluxo ótico, e independentemente de outros movimentos (e.g. movimentos dos olhos ou da cabeça) a direção que o sujeito está a tomar (Regan & Beverley, 1982; Warren & Hannon, 1988, 1990).

2.5. Principais divergências

No que à relação entre a visão e o controlo dos movimentos diz respeito, é reconhecido o contributo de fatores *Top-down* e *Bottom-Up* (Haider & Frensch, 1999; Tong, Zohar, & Hayhoe, 2017). Do mesmo modo, parece que as teorias cognitivistas e as ecológicas tendem a apresentar formas distintas de compreender o papel da visão no controlo de movimentos.

De uma forma geral, ambas teorias dão contributos válidos para a compreensão do movimento e da *performance* humanas, sendo os movimentos lentos, com uma duração superior a 200ms, mais facilmente explicáveis através das teorias cognitivistas, onde o processamento é *top-down* (Vickers, 2009). É exemplo desta perspetiva o modelo apresentado por Sprague, Ballard e Robinson (2007), puramente *top-down*, que defende que os comportamentos motores podem ser entendidos pelos seus componentes mais simples, que são executados considerando o seu potencial de retorno. Os alvos do olhar são escolhidos com o intuito de reduzir a incerteza sobre o que é necessário para executar o movimento. O olhar está, portanto, intimamente ligado, no tempo e na localização, às necessidades momentâneas da tarefa (Land, 2006; Tatler et al., 2011; Tong et al., 2017). Uma das principais limitações desta abordagem é a falta de representatividade da tarefa, dado que não foram ainda descobertos modelos *top-down* que expliquem os processos internos que contribuem para o controlo do olhar em contextos naturais (Lappi, 2016). Em contraste, os movimentos mais rápidos, com uma duração inferior a 200ms são explicados através das teorias ecológicas e dinâmicas (Vickers, 2009), onde a perceção direta assume um papel fundamental.

Henderson (2017), numa tentativa de proporcionar uma base teórica que permitisse a interpretação do olhar comum às duas perspetivas, propõe que o controlo do olhar em contextos naturais possa ser caracterizado pelo resultado da predição de uma determinada ocorrência em função do conhecimento antecipado.

Esta visão é de certa forma contrária à noção de perceção direta (Gibson, 1979; Michaels & Carello, 1981) uma vez que atribui um papel preditor ao cérebro. É este que, com base na experiência, gera expectativas e prediz o quê, onde e que eventos são expectáveis de ser encontrados, direcionando o olhar para os locais onde essas ocorrências se possam dar (Droll & Hayhoe, 2007; Henderson, 2017).

2.6. Bases para a análise dos movimentos dos olhos

O presente ponto do trabalho pretende contextualizar o estudo dos movimentos dos olhos, os instrumentos, técnicas e métricas mais utilizadas, conferindo um

enquadramento sobre os conceitos e técnicas utilizadas na recolha e análise dos dados posteriormente utilizados.

2.6.1. Estrutura e função do olho

O olho humano (Figura 4) é uma estrutura anatómica e fisiologicamente complexa, componente fundamental do sistema visual (Freddo & Chaum, 2018; Tate, 2009). A luz entra pelo olho através da pupila, que inverte a imagem e a projeta para a zona posterior da retina. Esta estrutura está repleta de células muito sensíveis à luz – os cones e bastonetes, que transformam a luz em sinais elétricos para serem enviados através do nervo ótico para processamento no córtex visual.

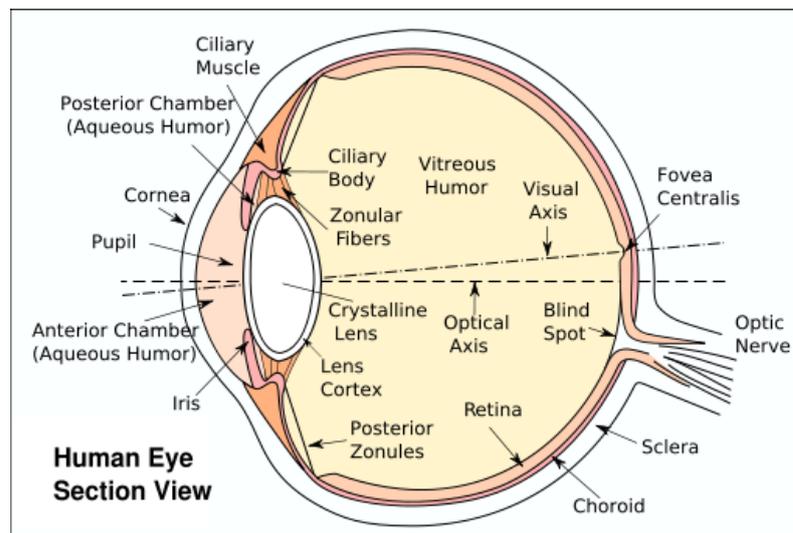


Figura 4: Representação esquemática do olho humano (adaptado de Holmqvist, et al., 2015).

Os cones são responsáveis pela visão a cores e pelo detalhe visual, ao passo que os bastonetes, muito sensíveis à luz, suportam a visão em condições de menor luminosidade, sendo também responsáveis pela visão monocromática.

A fóvea possui uma grande concentração de cones, ocupando cerca de 2º do campo visual total (Holmqvist et al., 2015), dispersando-se em menor concentração pelo resto. Esta maior concentração permite que tenhamos uma maior acuidade visual nesta pequena área, permanecendo uma imagem desvanecida no restante campo visual. É por

esta razão que os olhos têm de estar em permanente movimento, para que o nosso cérebro possa criar uma imagem clara do cenário.

Os movimentos do globo ocular são realizados através da contração de três pares de músculos, que permitem que o olho faça movimentos verticais, horizontais e rotacionais. Estes são os músculos retos inferior e superior (Figura 5, números 2 e 3), os retos lateral e medial (Figura 5, números 4 e 5), e os músculos oblíquos inferiores e superiores (Figura 5, números 7 e 8) (Freddo & Chaum, 2018; Tate, 2009).

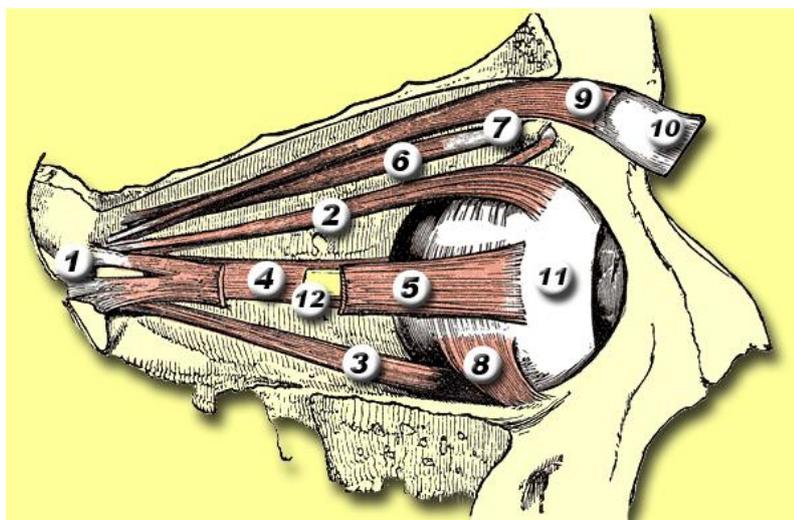


Figura 5 : Musculatura responsável pelos movimentos dos olhos (adaptado de Holmqvist, et al., 2015).

Por fim, o controlo do diâmetro da pupila, através do relaxamento e contração da íris, atua como um obturador de uma máquina fotográfica, conferindo ao olho profundidade no foco e permitindo visão à distância e de proximidade. Ao diminuir o diâmetro da pupila por via da contração da íris, há menos luz a entrar no olho e esta tende a concentrar-se mais no centro da lente. Isto faz com que se consiga focar melhor o objeto, permitindo desta forma um foco preciso e uma visão detalhada (Freddo & Chaum, 2018; Tate, 2009).

2.6.2. Terminologia e indicadores de análise dos movimentos dos olhos

O registo dos movimentos dos olhos tem sido feito desde o final do século XIX, onde os movimentos oculares eram registados através de aparelhos específicos, denominados *Eye Trackers*, que se caracterizavam por ser muito desconfortáveis e algo dolorosos para o utilizador (Holmqvist et al., 2015). Desde então, a evolução tecnológica permitiu o desenvolvimento de novas técnicas, mais práticas e menos dolorosas, que levaram a uma expressão acentuada no número de publicações científicas com recurso a este tipo de tecnologia. Como prova disto, uma pesquisa às bases de dados PubMed pelo termo “eye tracking”, por exemplo (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=eye+tracking>), devolve 74 artigos no ano de 2000, valor mais de dez vezes superior (765 artigos) em 2017.

Presentemente, a abordagem de registo dos movimentos dos olhos mais comum assenta na Video-Oculografia (VOG) (Duchowski, 2017; Singh & Singh, 2012). Esta é uma técnica baseada no registo em vídeo dos movimentos oculares através de microcâmaras de vídeo.

As posições dos olhos e os seus movimentos são determinados com base na informação adquirida através da sequência de imagens gravadas, que são posteriormente sobrepostas a uma outra câmara de vídeo, que regista a cena do ponto de vista do participante [(para uma revisão mais aprofundada sobre estas técnicas, cf. com Duchowski, (2017)]. Esta abordagem tecnológica existe, presentemente, em vários suportes, desde torres fixas, onde a cabeça se encontra totalmente imóvel, a dispositivos móveis, por infravermelhos, a *Eye Trackers* montados em óculos: *Eye Tracking Glasses* (ETG).

Considerando a velocidade a que o olho humano se consegue movimentar, com alguns autores a reportar velocidades na ordem dos 800°/seg. (Harezlak & Kasproski, 2018), uma das características chave deste tipo de aparelhos é a frequência de captura de imagens. Consequentemente, e considerando as características dos movimentos oculares, os aparelhos mais confiáveis são os que têm a capacidade de registar acima de 1000 imagens por segundo (Duchowski, 2017). Presentemente, esta capacidade de registo está apenas ao alcance das máquinas fixas, como as torres (Figura 6- A). No entanto, a utilização tanto deste tipo de equipamento como dos aparelhos de VOG

remotos traz uma limitação quando pretendemos analisar os movimentos dos olhos em contextos dinâmicos, como os contextos de prática desportiva. Os ETG, por seu turno, e em troca de frequências de captura de imagem na ordem dos 30-60 imagens/segundo, conferem uma maior liberdade de movimentos ao utilizador, aumentando desta forma a validade ecológica das descobertas.

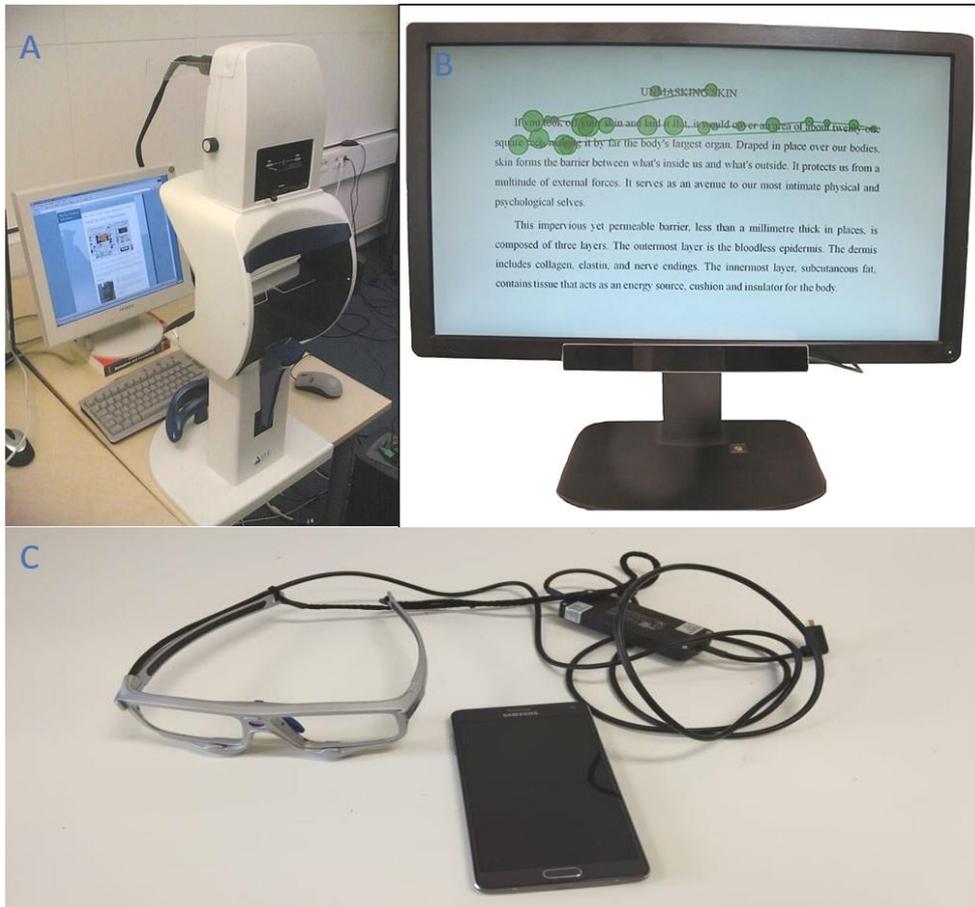


Figura 6: Exemplos de diferentes tipos de instrumentos utilizados para a Video-Oculografia: A – Torre para captura dos movimentos dos olhos a alta velocidade; B - Dispositivo de VOG remota, por infra-vermelhos (adaptado de SensoMotoric Instruments GmbH, 2014); C – óculos para captura dos movimentos dos olhos (ETG) (Laboratório Robocorp – IIA – IPC).

Outra das vantagens dos ETG prende-se com o facto de ser uma técnica praticamente não-invasiva e relativamente precisa (tem uma margem de erro na ordem de 1º de ângulo visual para uma amplitude visual de 30º). A sua limitação a 60Hz indica que estes sistemas recebem informação sobre a posição do olho a cada 16 milissegundos o que, considerando o exposto acima, limita a capacidade que o sistema tem em recolher algumas métricas (Duchowski, 2007, 2017; Holmqvist et al., 2015).

As características dos movimentos oculares mais comumente analisados são apresentados na Tabela 1, sendo as fixações o evento mais analisado. Elas representam um estado onde a posição do olho se encontra relativamente estável durante um determinado período. Esta estabilização não significa imobilismo completo, uma vez que o olho nunca se encontra completamente estagnado. Fenómenos como o tremor (pequenos movimentos involuntários, semelhantes aos nistagmos, com uma frequência de cerca de 90 Hz), microssacadas (pequenos e rápidos movimentos dos olhos durante a fixação, com o intuito de recentrar a mesma) e os *drifts* (movimentos lentos dos olhos, que desviam o olho do centro da fixação e que ocorrem entre as microssacadas) estão presentes durante as fixações (Duchowski, 2017; Harezlak & Kasproski, 2018; Holmqvist et al., 2015).

Tabela 1: Valores típicos dos movimentos oculares mais comuns.

Tipo	Duração (ms)	Amplitude	Velocidade
Fixação	> 100	-	-
Sacada	30-80	4-20°	30-800 °/s
Glissada	10-40	0.5-2°	20-140 °/s
<i>Smooth Pursuit</i>	-	-	10-30 °/s
Microssacada	10-30	10-40'	15-50 °/s
Tremor	-	<1'	20'/s
<i>Drift</i>	200-1000	1-60'	6-25'/s

Os movimentos rápidos dos olhos que ocorrem entre duas fixações são denominados de sacadas. São os movimentos mais rápidos que o corpo humano consegue produzir e os humanos são considerados cegos durante este movimento (Panchuk et al., 2015). Fruto da alta velocidade deste movimento, o olho não consegue parar exatamente no ponto predeterminado, ocorrendo uma oscilação do globo ocular antes de parar. Este movimento pós-sacádico é denominado de Glissada.

Por fim, os movimentos de perseguição de um alvo, (e.g., seguimento da trajetória de uma bola) são chamados de *Smooth Pursuit*. De sublinhar que estes movimentos diferem das sacadas, já que necessitam de um alvo para ocorrer, enquanto que as últimas podem ocorrer até de olhos fechados (Duchowski, 2017; Holmqvist et al., 2015).

2.6.3. Investigação com Eye-trackers

As técnicas lineares são as mais utilizadas para a análise do comportamento visual dos humanos. As fixações e as sacadas são o indicador de comportamento visual mais estudado na literatura, existindo uma vasta pesquisa realizada sobre o tema não só no desporto como também nos diversos domínios científicos, como comprovam as várias meta-análises e revisões sistemáticas realizadas sobre este tema (Kredel, Vater, Klostermann, & Hossner, 2017; Lai et al., 2013; McGuckian, Cole, & Pepping, 2018; Rienhoff et al., 2016; Schutz, Braun, & Gegenfurtner, 2011; Tien et al., 2014).

2.6.3.1. Medidas utilizadas para análise

A investigação no âmbito do estudo do movimento dos olhos tem produzido pesquisa maioritariamente relacionada com as fixações, onde se geralmente se procura caracterizar as estratégias visuais de desportistas de várias modalidades, de diferentes níveis de desempenho ou escalões etários (Afonso, Garganta, McRobert, Williams, & Mesquita, 2012; Croft, Button, & Dicks, 2010; Decroix et al., 2017; Dessing et al., 2012; del Campo, Canelo-Fariñas, Domínguez-Márquez, & Morenas-Martín, 2018; Machado et al., 2017; Manzanares et al., 2017; Murray & Hunfalvay, 2016). A investigação produzida centra-se no estudo das estratégias de busca visual (*visual search strategies*).

Para que se possa entender estas estratégias, é fundamental que se atribua significado às fixações. Os estudos *supra* sustentam esta abordagem na análise do número e tempo de fixações que os participantes fazem em regiões de interesse no campo visual disponível. Isto requer uma análise ao vídeo que contém as fixações sobrepostas na filmagem da cena, do ponto de vista do participante. É a partir daqui que as fixações são codificadas em função de Áreas de Interesse (*Areas of Interest*, ou AOI) definidas para o estudo. Importa salientar que não há uma regra para definir os AOI. Estas são selecionadas em função das especificidades de cada modalidade ou área de estudo. No estudo de Machado et al. (2017), por exemplo, foram comparados os padrões de busca visual de futebolistas de três escalões etários diferentes. Os autores definiram cinco AOI, tendo encontrado diferenças significativas no número de fixações nos AOI. Noutro estudo (Murray & Hunfalvay, 2016), foram usados três AOI para comparar as

estratégias de busca visual em tenistas de elite e sub-elite, tendo também encontrado diferenças entre os grupos estudados. O número de AOI depende, invariavelmente, das características e objetivos de cada estudo, pelo que não é possível estabelecer qualquer valor padrão.

Outra das métricas utilizadas neste tipo de estudo centra-se na análise da velocidade dos movimentos dos olhos, tanto em tarefas de *smooth pursuit* (Leclercq, Blohm, & Lefevre, 2013) como na análise da velocidade e amplitude das sacadas (Crawford, Smith, & Berry, 2017; Di Stasi et al., 2014; Keenan, Huddleston, & Ernest, 2017; Li, Yu, Li, & Greaves, 2014; Tatler et al., 2011). Neste âmbito, por exemplo, os estudos feitos por Connel e colaboradores (2016, 2017) têm estudado os efeitos da cafeína, dopamina e norepinefrina na fadiga oculomotora induzida pelo exercício. Em estudos feitos em laboratório, os ciclistas pedalarão por 180 minutos numa bicicleta estacionária, tendo-lhes sido aplicada uma bateria de testes visuais, em computador. Os autores reportaram uma redução da velocidade das sacadas na ordem dos 8%, por efeito da fadiga (Connell et al., 2016; Connell, Thompson, Turuwhenuwa, Srzich, & Gant, 2017).

2.6.3.2. *Técnicas não lineares para a análise da variabilidade na visão*

A utilização de técnicas não lineares para analisar a variabilidade dos sistemas de movimento humanos tem vindo a crescer (Estep, Morrison, Caswell, Ambegaonkar, & Cortes, 2018; Harbourne & Stergiou, 2009; Stergiou, Jensen, Bates, Scholten, & Tzetzis, 2001; Stergiou & Decker, 2011). Estas técnicas caracterizam-se por revelar a estrutura e natureza dos sinais ao longo de uma série temporal, que de outra forma (i.e., recorrendo às técnicas lineares clássicas) permaneceriam por descobrir (Stergiou, 2016).

Neste âmbito, as técnicas de cálculo da entropia de Shannon, da entropia aproximada, da *Sample Entropy*, do expoente de Lyapunov e do Expoente de Hurst proporcionam informação importante sobre o grau de imprevisibilidade e de complexidade do sistema motor no processo de geração de padrões de resposta, permitindo a descrição do grau ou de complexidade de uma série temporal (Smith, Stergiou, & Ulrich, 2010; Stergiou, 2016).

A variabilidade dos movimentos é entendida como promotora de flexibilidade e adaptabilidade do sistema, vindo como positivo o efeito da variabilidade na *performance* (Davids et al., 2003; Ducharme & van Emmerik, 2018; Stergiou & Decker, 2011; van Emmerik et al., 2016).

Por exemplo, Yang et al. (2018), ao colocar os participantes a realizar uma tarefa repetitiva de apontar, mostraram que o aumento da variabilidade dos movimentos articulares por efeito da fadiga pode indicar que o corpo adota esta estratégia no sentido de manter a *performance* relativamente ao objetivo da tarefa, denotando um cariz adaptativo por via da variabilidade dos movimentos. Este tipo de análises tem sido explorado em diversos trabalhos centrados na análise dos movimentos dos olhos (Aştefănoaei, Creangă, Pretegiani, Optican, & Rufa, 2014; Aştefănoaei, Pretegiani, Optican, Creangă, & Rufa, 2013; Crawford et al., 2017; Di Stasi et al., 2014; Harezlak & Kasprowski, 2018; Keenan et al., 2017; Murata & Matsuura, 2015; Shiferaw et al., 2018; Zargari Marandi, Madeleine, Omland, Vuillerme, & Samani, 2018). Os dados necessários para este tipo de interpretações podem provir tanto das fixações nos AOI como do posicionamento dos olhos num determinado referencial, representado pelas coordenadas x e y da posição dos olhos na cena ao longo da série temporal.

A entropia visual é utilizada para avaliar as estratégias de busca visual em atividades onde existe uma grande necessidade de informação visuo-espacial, tal como a condução automóvel (Gilland, 2008; Schieber & Gilland, 2008; Shiferaw et al., 2018), a aviação (Allsop & Gray, 2014; Li et al., 2014) ou, acrescentamos, a marcha e corrida em terreno acidentado. Neste contexto, a entropia visual é baseada nas equações da entropia de Shannon (cf. com secção dos Métodos do presente trabalho), sendo útil para a análise dos padrões de busca visual em ambientes naturais. Este tipo de entropia pode ser aplicado à distribuição probabilística de ocorrência de fixações nos AOI, calculando desta forma o nível médio de incerteza na distribuição espacial de uma sequência de fixações. Neste caso, valores superiores de entropia são indicadores de uma maior distribuição de fixações ao longo do campo visual, sugerindo assim uma maior dispersão do olhar (Di Stasi et al., 2016).

Há ainda outra forma de entropia visual, baseada na distribuição condicionada das fixações pelas AOI: a entropia de transições de estados. Neste caso, é aplicada uma equação de entropia condicional (cf. com secção dos métodos) às transições de fixações.

Estas transições correspondem às mudanças de uma AOI para outra, calculadas através da matriz de transições de Markov de primeira ordem (Gilland, 2008; Schieber & Gilland, 2008). Estas fornecem uma medida de previsibilidade de ocorrência de padrões de busca visual. Aqui, valores superiores de entropia são indicadores de um padrão de busca visual mais aleatório e menos estruturado (Krejtz et al., 2015).

Neste contexto, foram verificados aumentos nos valores destes dois tipos de entropia em condutores privados do sono, estando estes valores associados a uma maior probabilidade de os condutores saírem da estrada (Shiferaw et al., 2018). Do mesmo modo, um aumento dos valores de entropia está associado à dificuldade de cirurgias (Di Stasi et al., 2016) ou a estados elevados de ansiedade (Allsop & Gray, 2014).

Outros estudos centraram-se na análise da entropia dos padrões de outros movimentos oculares, nomeadamente através do estudo dos padrões de variação do diâmetro da pupila (Zargari Marandi et al., 2018), ou da amplitude das sacadas (Aştefănoaei et al., 2014; Stan et al., 2014), utilizando para tal a *sample entropy*, o Expoente de Lyapunov, a dimensão de correlação através Expoente de Hurst ou da *Detrended Fluctuation Analysis*.

O Expoente de Hurst é uma medida das correlações numa série temporal, que permite estudar a auto-similaridade de uma série temporal, variando entre 0, para uma correlação negativa, onde há tendência para diminuição dos valores, e 1, para uma correlação positiva, onde há tendência de aumento dos valores ao longo da escala temporal. Valores de 0,5 indicam que a série se comporta de forma aleatória (Aştefănoaei et al., 2014; Stergiou, 2016).

Por fim, o Expoente de Lyapunov quantifica a divergência de duas trajetórias no espaço-tempo. Valores maiores do Expoente de Lyapunov indicam um sistema tendencialmente divergente, com grande variabilidade e pouca regularidade. Pelo contrário, valores mais próximos de 0 são indicadores de um sistema convergente e regular (Harbourne & Stergiou, 2009). Por exemplo, foi encontrada uma relação entre o aumento dos valores do expoente de Hurst e as exigências cognitivas de uma tarefa (Aştefănoaei et al., 2014), indicando que o aumento da carga cognitiva de uma tarefa pode gerar um grau de complexidade maior ao nível das sacadas. Já no que à análise do Expoente de Lyapunov diz respeito, os investigadores reportaram valores positivos próximos de 0, não tendo verificado o efeito da carga cognitiva, indicando que houve a

manutenção da regularidade das sacadas, independentemente da carga cognitiva a que os participantes estavam sujeitos.

Estas métricas permitem ir ao encontro de uma perspetiva de aprendizagem não linear que tem vindo a ganhar relevo, o modelo de aprendizagem diferencial de Schöllhorn (Schöllhorn, Hegen, & Davids, 2012; Schöllhorn, Mayer-Kress, Newell, & Michelbrink, 2009), que defende que a aprendizagem ou o treino de movimentos é um processo individual e não linear, variando em função das características do praticante. Esta perspetiva parte do pressuposto que a introdução de variabilidade, ao invés da repetição, no processo de aprendizagem produz melhores resultados, permitindo ao sistema motor a aquisição de mais flexibilidade e plasticidade na *performance* motora (Frank, Michelbrink, Beckmann, & Schöllhorn, 2008; Schöllhorn et al., 2012).

A literatura pesquisada não encontrou qualquer estudo que analisasse de forma não linear os movimentos dos olhos ou os padrões de olhar em contextos desportivos. Esta falha na literatura pode ser explicada por duas razões: i) a complexidade matemática dos cálculos necessários para a determinação dos valores de entropia e, ii) a menor disponibilidade tecnológica associada aos instrumentos de recolha de dados, não muito disponíveis na área das ciências do desporto.

2.7. A visão na marcha, corrida e *trail*

“Locomotion and manipulation ... are controlled not by the brain but by information... Control lies in the animal-environment system ... The rules that govern behaviour are not like laws enforced by an authority or decisions made by a commander; behaviour is regular without being regulated.” (Gibson, 1979, p. 225).

A corrida, como qualquer atividade locomotora, requer a resolução de um conjunto de problemas que se relacionam com a interpretação do meio envolvente, em linha com o preconizado por Newell (1986) e Gibson (1979). Tomemos a corrida de *trail* como exemplo. Para um corredor de *trail*, o seu objetivo principal é ser o primeiro a chegar ao final da corrida. Contudo, e embora o percurso esteja delimitado, o primeiro problema que este atleta encontra é delinear a melhor estratégia para conseguir fazer

face às características do terreno. Para isto, ele necessita de informação sobre o tipo de terreno que vai encontrar, declives e dificuldade do mesmo. Este plano é, contudo, apenas uma pequena parte do problema geral, uma vez que o próximo problema locomotor consiste em adaptar este plano à informação obtida pelo sujeito sobre as características orográficas no momento, que se poderão ter alterado desde o planeamento inicial.

Durante a corrida, o corpo encontra-se em fluxo dinâmico (Kuo, 2007). As posições e movimentos relativos das várias partes do corpo estão em permanente mudança, tal como a posição, orientação e movimento do corpo como um todo relativamente ao ambiente que o rodeia. É este o terceiro problema do corredor, ou seja, controlar uma relação de fluxo dinâmico das várias partes corporais com elas próprias, e do movimento dinâmico do corpo com o meio ambiente em permanente mudança. A informação necessária para lidar com todos estes problemas provém de vários sistemas, dos quais a visão se assume como o meio primordial, que supervisiona os padrões de ação e afina os restantes sistemas percetivos (Lee & Lishman, 1977).

Considerando o exposto, a interpretação atempada das características do terreno, tende a fornecer ao praticante uma vantagem que se traduz numa melhor preparação do seu sistema locomotor para a tarefa (Vickers, 2011).

No caso da locomoção, o acoplamento entre informação visual e comportamento motor tem sido amplamente estudado, desde os estudos pioneiros de Lee e Lishman (1977), que utilizaram o conceito de “optic flow” introduzido por Gibson (1950), e definiram a locomoção como sendo controlada internamente pela definição de uma “linha de fluxo locomotor” (*locomotor flow line*), que permite o planeamento da direção que se pretende seguir.

Hollands e Marple-Horvat (2001), e Hollands, Marple-Horvat, Henkes, e Rowan (1995), analisaram a coordenação entre o movimento dos olhos e dos pés durante uma tarefa de colocação dos pés em locais precisos. Estes autores confirmaram que a visão é utilizada para planear tanto o passo seguinte como a próxima fixação, atuando como um mecanismo de *feedforward* e reforçam a noção de que a visão é preponderante no processo de planeamento. No entanto, estes estudos focam-se em tarefas de precisão da colocação do pé em locais específicos, o que acaba por gerar padrões de locomoção específicos, limitando as possibilidades de ação dos participantes.

Ao colocarem obstáculos ao longo de um percurso, Patla e Vickers (1997) solicitaram aos participantes que passassem por cima de barreiras físicas. Os autores observaram uma variedade maior de estratégias visuais para poder antecipar ajustamentos necessários aos diferentes constrangimentos que surgiram na trajetória, tendo chegado à conclusão que os participantes fixam o terreno 4 a 6 metros à frente da sua localização corrente.

Por outro lado, estudos sobre a antecipação do olhar durante a locomoção (Bernardin et al., 2012; Hollands, Patla, & Vickers, 2002) encontraram uma ordem hierárquica na organização do olhar e das orientações segmentares durante a marcha. A direção do olhar antecipou a orientação da cabeça, que por sua vez antecipou a (re)orientação dos restantes segmentos corporais em direção ao objetivo. Esta natureza antecipatória do olhar reveste-se de especial importância para a compreensão da relação entre a informação visual e a locomoção, dando a ideia de que “olhamos para onde queremos ir” (Bernardin et al., 2012; Lappi, 2016; Wilkie, Wann, & Allison, 2008).

Outros estudos têm-se centrado em objetivos como a compreensão da influência da visão na biomecânica da locomoção (Matthis et al., 2015; Matthis & Fajen, 2014; Muller, Haufle, & Blickhan, 2015; Warren, Young, & Lee, 1986), na precisão da passada (Fennel, Goodwin, Burn, & Leonards, 2015; Patla & Vickers, 2003; Reynolds & Day, 2005; Smid & Den Otter, 2013), no controlo da locomoção para a passagem por obstáculos (Hackney, Zakoor, & Cinelli, 2015; Patla & Vickers, 1997) ou na locomoção adaptativa (Higuchi, 2013; Patla, 2004; R. M. Wilkie, Kountouriotis, Merat, & Wann, 2010).

No que diz respeito à metodologia utilizada, os estudos encontrados utilizam a análise dos parâmetros de ação do movimento com recurso a vídeo, conjuntamente com sistemas de *eye tracking* (Bernardin et al., 2012; Hollands et al., 2002). A quantificação da informação visual é obtida através do registo de movimentos oculares que nos permitem inferir sobre a visão central e os padrões de visualização de uma determinada realidade. O número e tempo de fixações, bem como as sacadas constituem-se como dados fundamentais (Higuchi, 2013; Hollands et al., 2002; Patla, 1997, 2004).

Ao utilizarem *Eye trackers* para estudar a relação entre o olhar e os padrões de locomoção, Patla e Vickers (Patla & Vickers, 2003) depararam-se com dois comportamentos dominantes quando caminhamos: as *fixações no percurso* e as *fixações*

*nos alvos*¹, com o primeiro a ser predominante relativamente ao último. Adicionalmente, quando os participantes fixam um alvo, fazem-no dois passos antes do mesmo. Mais recentemente, num estudo com recurso a vídeo de alta velocidade e a um percurso projetado no chão, Matthis et al. (Matthis et al., 2015) verificaram que a informação visual deixa de ser necessária para a execução precisa da passada a partir da segunda fase da penúltima passada, classificando esta fase como crítica para o controlo da marcha.

Deste modo, apresentamos de seguida um quadro resumo com os principais estudos que têm associado a visão à locomoção (Tabela 2).

¹ Os termos originais, em língua Inglesa são respetivamente *travel gaze fixation* e *landing target fixation*. A pesquisa efetuada não encontrou qualquer equivalência destes termos na língua portuguesa, pelo que optámos por realizar uma tradução livre dos mesmos.

Tabela 2: Quadro sinóptico de estudos sobre visão e locomoção.

Autor / Ano	Objetivo	Amostra e repetições da tarefa	Variáveis	Principais Conclusões
Patla & Vickers, (1997)	Perceber para onde e quando olhamos ao passar por um obstáculo	n= 8, 15 repetições	Número e tempos de fixação Fixações no percurso	A fixação nos obstáculos é usada como mecanismo de <i>feedforward</i> para controlar a locomoção
Hollands & Marple-Horvat (2001)	Verificar a relação entre o sistema visual e locomotor em tarefas de precisão	n= 4, 40 repetições	Sacadas Transição da passada	O olhar actua como um mecanismo de <i>feedforward</i> para o controlo da locomoção
Hollands, Patla & Vickers (2002)	Estudar o comportamento do olhar durante a escolha de um percurso	n= 7, 20 repetições	Direção do olhar Fixações no percurso	O olhar e a orientação da cabeça são usados como referência para o controlo da locomoção
Bernardin et al. (2012)	Estudar a relação temporal e espacial dos padrões de olhar na locomoção	n= 10, 27 repetições	Fixações Padrões de olhar Posição da cabeça, tronco e membros	Os padrões de olhar orientam o planeamento da trajetória
Matthis, Barton & Fajen (2015)	Determinar em que momento a informação visual deixa de ser necessária para o controlo da locomoção	n= 12, 200 repetições	Erro da passada Condição de invisibilidade do percurso	A precisão da passada deixa de ser controlada segunda fase da penúltima passada.
Larsen, Jackson, & Schmitt, (2016)	Perceber como corredores de níveis diferentes, em velocidades de corrida diferentes, ajustam a corrida face a um obstáculo	n= 13, 20 repetições	Largura da passada Posicionamento do pé Tipo de passada	Os corredores aumentam sempre o comprimento da passada quando encontram um obstáculo.
Matthis, Yates e Hayhoe, (2018)	Registaram o olhar e a locomoção dos participantes em três tipos de terreno	n= 6, 3 viagens para cada tipo de terreno	Fixações Padrões do movimento	Os participantes mostram estratégias distintas de olhar em função do tipo de terreno.

A dimensão das amostras, como pode ser visto na tabela acima, tende a ser reduzida, com valores geralmente inferiores a 13 participantes. Isto deve-se ao elevado volume de dados produzido por cada sujeito e série temporal de dados, o que implica um elevado custo de processamento e codificação dos dados.

2.8. Corrida de *Trail*: conceito e investigação

A participação em eventos de corrida de *endurance* e de *ultra-endurance*, como as ultra-maratonas ou os *trails* e *ultra-trails* têm vindo a ganhar espaço no panorama desportivo nacional e internacional (cf. Hoffman, Ong, & Wang, 2010; Knoth, Knechtle, Rüst, Rosemann, & Lepers, 2012). O interesse da comunidade científica pelo estudo desta modalidade acompanhou o seu desenvolvimento, manifestando-se num número significativo e atual de publicações científicas sobre o tema.

Esta parte do trabalho pretende, portanto, apresentar de forma resumida a corrida de *trail*, suas características e modelo organizativo, assim como as principais linhas de investigação que têm sido desenvolvidas nesta modalidade desportiva.

2.8.1. Conceito de Corrida de *Trail*

A corrida de *trail* é definida como a corrida em superfícies não pavimentadas ou alcatroadas, numa variedade de substratos e contendo obstáculos naturais tais como grandes subidas ou descidas, raízes de árvores ou cruzamentos de água (Chase & Hobbs, 2010; Hicks & Powell, 2016). Já para a International *Trail* Running Association (ITRA) (ITRA, 2018), a definição da modalidade é um pouco mais concreta e disponibiliza na sua página oficial três pontos fundamentais subjacentes à sua caracterização: i) Consiste numa corrida pedestre aberta a todos, em ambiente natural, não devendo as estradas pavimentadas ou asfaltadas exceder 20% da distância total do percurso; ii) O tipo de terreno pode variar e a rota deve estar devidamente marcada, ou seja, os participantes devem ter informação suficiente para completar a corrida sem se perderem (podendo-se usar desde marcas físicas a marcas permanentes, coordenadas GPS, ou orientação por mapa); iii) A corrida deve ser feita preferencialmente em regime de auto ou semi-suficiência, ou seja, o participante deve ser autónomo entre as estações de ajuda.

No contexto nacional, esta modalidade desportiva é tutelada pela Associação de *Trail* Running de Portugal (ATRP) (ATRP, 2018), uma associada da Federação Portuguesa de Atletismo, e assume como definição desta modalidade na sua página oficial, uma:

“Corrida pedestre em Natureza, com o mínimo de percurso pavimentado/alcatroado, que não deverá exceder 10% do percurso total, em vários ambientes (...) e terrenos (...), idealmente – mas não obrigatoriamente – em semi ou auto-suficiência, a realizar de dia ou durante a noite, em percurso devidamente balizado e marcado e em respeito pela ética desportiva, lealdade, solidariedade e pelo meio ambiente.”(ATRP, 2018).

Verificamos, portanto, que apesar de alguma variabilidade no que diz respeito às definições apresentadas tanto na bibliografia como pelas entidades que tutelam esta modalidade, existe um denominador comum na caracterização deste desporto. Salienta-se apenas o facto de haver alguma discrepância no que diz respeito à quantidade de percurso pavimentado ou alcatroado permitida pelas entidades oficiais, sendo a portuguesa, neste aspeto, mais restritiva.

De acordo com a ATRP, as provas são divididas em função da sua distância e do seu nível de dificuldade. Quanto ao primeiro critério, existem 3 categorias: i) *trail*, que compreende provas até à distância oficial de meia-maratona; ii) *trail* longo, com provas de distância entre a meia maratona e a maratona e; iii) *trail* ultra, com 3 subcategorias, *trail* ultra médio (42 – 69km), *trail* ultralongo (70 – 99km) e *trail* ultra extralongo (mais de 100km). No que concerne ao segundo critério, as provas são classificadas num ranking de classe 1 a 4, em função da relação entre a distância total da prova e o desnível positivo acumulado (ATRP, 2018).

A organização de eventos de corrida de *trail*, à semelhança das corridas populares, de estrada, tem proliferado no país nos últimos anos. Este tipo de corridas é organizado livremente, por qualquer pessoa, coletividade, entidade pública ou privada. Contudo, apenas as provas certificadas pela ATRP pontuam para os Campeonatos Nacionais e para a Taça de Portugal sendo, para o caso, obrigatória a sua homologação.

2.8.2. Investigação na corrida de *trail*

A corrida de *trail*, pelas suas características intrínsecas, é uma modalidade passível de ser analisada à luz da perspetiva ecológica dinâmica e do modelo dos constrangimentos de Newell (1986). Vejamos: dá-se em terreno acidentado, o que coloca uma série de constrangimentos ambientais cuja resposta motora é considerada pelo praticante em função da sua perceção das características do terreno. Por sua vez, esta perceção é influenciada pelas suas características físicas e fisiológicas intrínsecas, o que provoca alguma variabilidade nas respostas motoras que visam lidar com os obstáculos ambientais com que o praticante se depara durante o seu caminho.

A corrida de *trail* coloca uma série de problemas de investigação. Do ponto de vista biomecânico, por exemplo, o facto de se correr numa superfície irregular coloca, logo à partida, dificuldades ao nível da quantificação do esforço necessário para manter um determinado ritmo de corrida. Nesta linha, um estudo recente sugere que o modelo fisiológico tradicional de predição da *performance* em corrida de endurance não se deve aplicar ao contexto da corrida de *trail*, indicando que há outros fatores fisiológicos preditores da *performance* (Ehrström et al., 2018). Estes autores avaliaram 9 corredores de elite numa prova de *trail* de 27km e em laboratório, sugerindo a inclusão no modelo de um indicador da economia de corrida em inclinação e outro de endurance local.

No que diz respeito à investigação produzida no âmbito desta modalidade desportiva, os estudos têm-se debruçado essencialmente em aspetos relacionados com parâmetros fisiológicos (e.g.; Ferreira, Santos, Aidar, Matos, & Souza, 2016; Lopez et al., 2016; Mrakic-Sposta et al., 2015), com a fadiga (Easthope, 2013; Easthope et al., 2014; Giandolini, Horvais, et al., 2015; Koblbauer, van Schooten, Verhagen, & van Dieën, 2014; Millet, 2011; Vercruyssen, Tartaruga, Horvais, & Brisswalter, 2016), a fadiga mental e a influência da dor na *performance* (Blakely, Kemp, & Helton, 2015; Easthope, 2013; Enoka & Duchateau, 2016; Marcora, Bosio, & de Morree, 2008; Marcora & Staiano, 2010; McCormick, Meijen, & Marcora, 2015; Millet, 2011; Schmit et al., 2015; Smith, Marcora, & Coutts, 2015), as tipologias da passada e tipo de calçado e suas relações com a *performance* (Boey et al., 2017; Boyer, 2015; Degache et al., 2013; Giandolini et al., 2016; Giandolini, Pavailler, Samozino, Morin, & Horvais, 2015; Kasmer, Liu, Roberts, &

Valadao, 2016; Larsen et al., 2016; Palmer & Eaton, 2014; Pizzuto, Rago, Bailey, Tafuri, & Raiola, 2016; Vercruyssen et al., 2016; Yandell & Zelik, 2016).

Uma linha de pesquisa interessante está relacionada com o problema da manutenção dos níveis de hidratação nestas provas. Estes estudos têm-se centrado nos efeitos do consumo de diferentes tipos de bebidas na manutenção dos estados de hidratação, da hiponatremia e da composição corporal, tanto em provas curtas (Lopez et al., 2011, 2016; Tam, Nolte, & Noakes, 2011), ultra-maratonas (Chlíbková, Rosemann, Posch, Matoušek, & Knechtle, 2016; Hoffman, Goulet, & Maughan, 2018; Hoffman & Stuempfle, 2014), e até em provas de ultra-resistência de mais que um dia (Chlíbková, Nikolaidis, Rosemann, Knechtle, & Bednář, 2018; Degache et al., 2014; Hue, Henri, Baillot, Sinnaph, & Uzel, 2014). Os estudos indicam que há uma preocupação generalizada por parte dos atletas na manutenção dos níveis de hidratação, o que pode, inclusivamente, levar a estados hiponatrémicos.

Outra linha de investigação relevante para a corrida de *trail* é a do estudo da prevalência de lesões (Boyer, 2015; Malliaropoulos, Mertyri, & Tsaklis, 2015). Neste ponto, os problemas de visão são contabilizados como um dos fatores que levam a que os participantes desistam das provas de ultra endurance, representando 0,7% das razões para a desistência (Hoffman & Fogard, 2011).

Neste âmbito, e com o intuito de tentar perceber as razões para a perda ou as dificuldades de visão durante uma ultramaratona, Høeg, Corrigan e Hoffman (2015) encontraram 173 pessoas com histórico de perdas visuais significativas durante as provas. Os participantes tinham sensivelmente a mesma tipologia de sintomas: a visão a ficar progressivamente turva, até não conseguirem continuar a corrida, ficando a córnea com um aspeto esbranquiçado. Estes sintomas desapareceriam 3.5 a 48 horas após o término da prova. Destes, apenas 10 foram a uma consulta de oftalmologia, sendo que em oito lhes foi diagnosticado edema corneal e dois sofreram de uma irritação fruto das lentes de contacto. Ainda nesta dimensão de problemas Cope e Kropelnicki (2015), apresentam um caso de um corredor que perdeu momentaneamente a visão devido ao congelamento da córnea, algo que é comum que aconteça em provas de endurance em ambientes muito frios.

2.9. Definição das hipóteses de estudo

Recuperamos aqui os objetivos deste estudo, para que procedamos ao enquadramento das hipóteses. O principal objetivo deste estudo é analisar a importância da informação visual na corrida de *trail*, nomeadamente ao nível da influência que o nível de experiência dos atletas tem nas estratégias de busca visual, assim como a influência da fadiga fisiológica neste processo.

A análise da informação visual necessária para o planeamento da corrida em terreno acidentado permitirá perceber, portanto, como a perceção/leitura do terreno é influenciada pelos constrangimentos individuais e da tarefa.

2.9.1. Hipóteses de estudo

Em concomitância com a problemática e os objetivos definidos, delinearam-se as seguintes hipóteses de estudo:

Hipótese 1: *“Os praticantes de corrida de trail experientes apresentam diferentes tempos e número de fixações nas AOI que os praticantes não experientes”;*

Hipótese 2: *“As estratégias de busca visual dos praticantes experts são diferentes das estratégias dos não experts”;*

Hipótese 3: *“Os praticantes de corrida de trail experientes apresentam mais variabilidade nos padrões de movimentos dos olhos que os não experts”;*

Hipótese 4: *“Os praticantes de corrida de trail experientes apresentam mais variabilidade nos padrões de fixações nas AOI do que os não experts”*

Hipótese 5: *“A instalação de um estado de fadiga provocado pela corrida de trail leva a uma diminuição do número de fixações e ao aumento dos tempos de fixação”;*

Hipótese 6: *“A fadiga provocada pela corrida de trail faz diminuir a variabilidade dos padrões de busca visual”.*

2.9.2. Hipóteses estatísticas

Decorrente das hipóteses expressas, definiram-se as seguintes hipóteses estatísticas:

H₀₁: “Não existem diferenças estatisticamente significativas entre os praticantes experientes e não experientes ao nível do número total de fixações nas AOI”.

H₀₂: “Não existem diferenças estatisticamente significativas entre os praticantes experientes e não experientes ao nível dos tempos e número de fixações nas AOI.

H₀₃: “Não existem diferenças estatisticamente significativas entre os praticantes experientes e não experientes ao nível dos valores de variabilidade dos movimentos sacádicos e da amplitude das sacadas”.

H₀₄: “Não existem diferenças estatisticamente significativas entre os praticantes experientes e não experientes ao nível dos valores de entropia visual e da entropia de transições de estado”.

H₀₅: “Não existem diferenças estatisticamente significativas entre o estado de repouso e o de fadiga, para os atletas experientes e não experientes, ao nível do número total de fixações nas AOI”.

H₀₆: “Não existem diferenças estatisticamente significativas entre o o estado de repouso e o de fadiga, para os atletas experientes e não experientes ao nível dos tempos e número de fixações nas AOI”.

H₀₇: “Não existem diferenças estatisticamente significativas entre o estado de repouso e o de fadiga, para os atletas experientes e não experientes ao nível dos valores de variabilidade dos movimentos sacádicos e da amplitude das sacadas”.

H₀₈: “Não existem diferenças estatisticamente significativas entre o estado de repouso e o de fadiga, para os atletas experientes e não experientes ao nível dos valores de entropia visual e da entropia de transições de estado”.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

Ancorámos este estudo no quadro conceptual teórico e no estado da arte apresentado nos capítulos anteriores.

Após o enquadramento conceptual, onde foram apresentadas e discutidas visões concorrentes sobre a forma como os movimentos são controlados, procurámos perceber o papel da visão e do olhar neste processo e apresentámos as técnicas e medidas mais utilizadas no escopo do nosso trabalho. Procurámos ainda perceber de que forma a visão afeta a locomoção em terreno acidentado, transferindo estas noções para a corrida de *trail*.

Com este percurso, tentámos estabelecer uma base conceptual teórica que nos ajudasse e orientasse na contextualização e concretização do estudo empírico. Ao longo deste capítulo procurámos caracterizar e justificar as opções metodológicas assumidas no estudo.

Assim, é feita referência à tipologia do estudo, apresentam-se os participantes sobre os quais incidiu a investigação e critérios que levaram à sua escolha, identificando e caracterizando ainda as principais estratégias e instrumentos utilizados para a recolha de dados e descrevendo, também, os processos de validação, recolha e tratamento dos mesmos.

Pretende-se, assim, esclarecer sobre a forma como se construiu a estrutura conceptual que suportou todo o estudo empírico.

3.1. Classificação do estudo

O estudo que se apresenta e a metodologia aplicada no mesmo teve por base o método experimental.

3.2. Tipo de estudo

O estudo foi transversal, tendo contemplado a avaliação dos mesmos parâmetros em duas ocasiões, tendo também analisado as diferenças entre duas populações diferentes em cada uma das ocasiões.

3.3. Amostra

A amostra foi composta por 18 corredores de *trail* (37.89 ± 5.73 anos) e foi dividida em dois grupos de nove, sendo um grupo composto por atletas experientes, com mais de cinco anos de prática e um mínimo de três corridas de *trail* longo ou *ultra-trail* terminadas na última época desportiva e com uma média de idades de 38.89 ± 6.30 anos. O segundo grupo era composto por praticantes recreativos, não federados, com tempo de prática entre um e dois anos e uma corrida de *trail* longo terminada na última época desportiva. A média de idades deste grupo era de 36.90 ± 4.91 anos.

3.3.1. Mortalidade da Amostra

Após recolha e análise preliminar dos dados, foram eliminados da amostra três participantes (dois não *experts* e um *expert*). A razão para esta decisão sustentou-se no facto de os resultados das variáveis recolhidas através os ETG terem um “*tracking ratio*” inferior a 90%. Não há, na literatura consultada, consenso quanto aos valores de corte para este parâmetro, pelo que optámos por um valor muito conservador (Decroix et al., 2017; Holmqvist et al., 2015; Vansteenkiste et al., 2017). As razões para os valores baixos de “*tracking ratio*” deveram-se, no caso de dois participantes, à provável interferência dos óculos que utilizaram para a corrida na captura proveniente do ETG. No terceiro caso, as razões prenderam-se com o desajuste dos ETG à cabeça do participante, que levou a que durante a corrida os ETG não assentassem perfeitamente, e saltassem do devido lugar, o que levou a que não se conseguisse estabilizar a imagem e à impossibilidade de codificar com fiabilidade os dados.

3.4. Consentimento informado

Apresentada a informação e os procedimentos de pesquisa, todos os participantes procederam individualmente ao preenchimento da declaração de consentimento livre e informado (cf. Apêndice 1), onde atestaram a sua adesão de forma voluntária. A salvaguarda da privacidade, do anonimato, da confidencialidade e do uso da imagem do participante apenas com o propósito da prossecução dos trabalhos de investigação foram também contemplados pelo investigador e conformidade com a Convenção de Oviedo e com a Declaração de Helsínquia.

3.5. Tarefa

Foram analisados os movimentos dos olhos, as fixações, os tempos de fixação e o número de fixações nos AOI, com e sem fadiga, numa pista de corrida em terreno acidentado. Foi ainda recolhida informação sobre a amplitude das sacadas. A pista tinha 21 de comprimento por 1 metro de largura (Figura 7). A pista foi construída em aglomerado de madeira MDF hidrófugo com 19 milímetros de espessura, com módulos de 1,5 metros de comprimento por 1 metro de largura e 25 centímetros de altura. Os topos de cada módulo tinham 11 centímetros de altura, para que, ao encher de terra, não se visse nem fosse sentido pelos participantes as transições de módulo. A pista foi ainda pintada com tinta plástica, para conferir uma melhor resistência ao material de enchimento.

O material de enchimento era composto por uma base de terra e pequenos seixos. A pista era, portanto, composta por duas partes. A primeira apenas com terreno acidentado de dificuldade baixa (12 metros), e a segunda (9 metros) de piso mais difícil ou acidentado, com terreno composto por terra e pedras de diferentes dimensões e onde os participantes podiam adotar diferentes comportamentos, como saltar, pisar ou contornar (Figura 8).

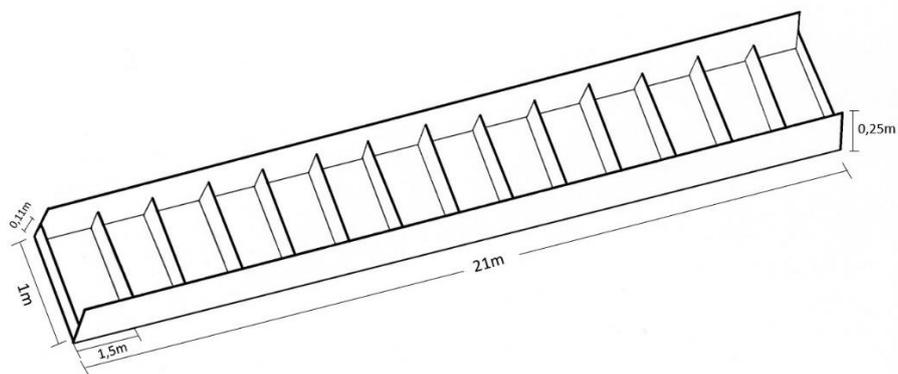


Figura 7: Esquema da pista de testes.

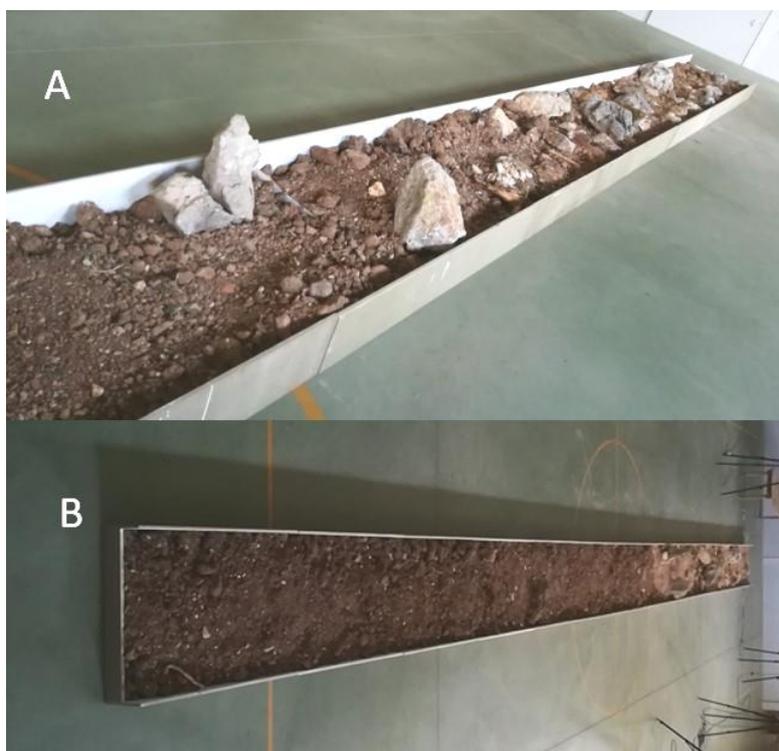


Figura 8: Pista de testes utilizada: A - vista de pormenor da parte acidentada da pista; B - vista geral da pista.

Solicitou-se a todos os participantes que corressem à velocidade máxima de corrida auto-ajustada, por forma a simular uma situação de prática competitiva, e que, à saída da pista, seguissem sempre pela esquerda.

3.6. Variáveis

A variáveis independentes são, segundo o modelo de Newell (1986), relativas ao sujeito. Correspondentes aos constrangimentos individuais, são as relacionadas com o nível de experiência do participante (*expert* ou *não-expert*) e com o seu nível de fadiga (repouso ou fadiga).

No que diz respeito às variáveis dependentes que dizem respeito ao padrão de visão do terreno, considerou-se o número e local de fixação do olhar dos participantes, os tempos de fixação do olhar dos participantes nos pontos de interesse do percurso. Consideraram-se ainda as coordenadas *xx* e *yy* referentes à posição do olhar no terreno, em toda a série temporal da corrida e a amplitude das sacadas.

Ainda no domínio das variáveis dependentes, foram também analisadas variáveis que permitiram caracterizar o impacto da prova de *trail* nos participantes, nomeadamente a concentração de lactato sanguíneo, a massa corporal, a gordura corporal total, a percentagem de gordura corporal, massa magra, massa livre de gordura, a quantidade de água corporal, a percentagem de água corporal, a percepção subjetiva de esforço e a prestação no teste de atenção distribuída.

3.7. Setup Experimental

A análise das variáveis e medidas contemplou o desenho de um *setup* experimental composto pelo sistema SMI Eye tracking Glasses, que consiste em uns óculos que monitorizam e gravam os movimentos pupilares, bem como a imagem visível proveniente da visão central. As imagens foram gravadas a uma frequência de 60 Hz, em linha com o estudo de Machado, et al., (2017) e superior a outros estudos na área do estudo do comportamento visual em contextos desportivos (Decroix, et al., 2017; Manzanares, et al., 2017)

A pista de corrida localizava-se no interior do pavilhão (Figura 7 e Figura 8), assegurando desta forma condições similares de temperatura e luminosidade para todos

os participantes. Adicionalmente, foi colocada mais uma câmara de filmar, posicionada frontalmente relativamente à pista, capturando imagens a uma frequência de 30 Hz.

Como requisito prévio para o início da participação de cada atleta, foi disponibilizada toda a informação sobre os objetivos da investigação. Para tal, os participantes foram informados que o objetivo da tarefa era correr na pista com percurso acidentado e voltar no percurso plano 10 vezes, à velocidade máxima de corrida auto-ajustada, ou seja, aquela que considerassem adequada para fazer o percurso no menor tempo possível, sem que houvesse perigo de queda.

Os participantes foram igualmente informados que lhes seria oferecido no final da prova uma fita de cabeça em tecido turco, da marca *Artengo*. As lembranças foram oferecidas imediatamente após a recolha de dados referentes a cada participante.

3.8. Organização Experimental e Procedimentos

Esta investigação realizou-se no pavilhão coberto da Associação Cultural e Recreativa de Anços, em Redinha, Pombal. As razões de escolha deste local prenderam-se com a sua localização geográfica (N 39,983058°, -O 8,574220°), integrada numa zona de corrida de *trail* (serra da Sicó), onde há com alguma frequência provas e treinos da modalidade.

O facto de ser um espaço coberto permitiu controlar a luminosidade disponível para a captura das imagens.

Todos os elementos participantes na pesquisa, investigadores e colaboradores foram instruídos acerca da forma de atuar durante o período de recolha de dados.

O espaço de recolha de dados estava dividido entre uma sala e um pavilhão cobertos, dando aos investigadores controlo sobre as condições climáticas e de luminosidade. Na primeira sala, procedia-se à recolha de dados antropométricos, dos valores de lactato, realizava-se o teste de atenção distribuída e aparelhava-se e calibravam-se os ETG para cada participante.

3.8.1. Avaliação de lactato

A avaliação dos níveis de lactato foi feita com o analisador de campo Lactate pro

2. Foi adotado o seguinte procedimento:

- 1) escolheu-se o terceiro dígito dos participantes, que foi desinfetado com um pedaço de algodão embebido em álcool a 97%;
- 2) esperou-se que o álcool evaporasse e, com o recurso a uma lanceta individual esterilizada, foi feita uma picada no terceiro dígito do participante;
- 3) limpou-se a primeira gota de sangue com algodão seco;
- 4) retirou-se uma amostra de sangue diretamente para a tira de teste específica do modelo de aparelho utilizado;
- 5) voltou a desinfetar-se o dedo, colocando-se de seguida um penso rápido.

Foi necessária a colaboração de um assistente para este processo.

3.8.2. Registo antropométrico e composição corporal

As medidas antropométricas e de composição corporal foram recolhidas pelo investigador principal, recorrendo a um estadiómetro e a uma balança digital Tanita (modelo BC-420 SMA). O registo dos valores foi estandardizado em todos os participantes para a opção “*athlete*”. Recorreu-se a um colaborador para proceder ao manuseio e registo dos valores obtidos na pesagem. À semelhança dos procedimentos utilizados na literatura, as variáveis recolhidas foram: peso, % massa gorda, % massa livre de gordura, % água, quantidade de massa gorda (kg), quantidade de massa livre de gordura (Kg), quantidade total de água (kg). (Belinchon-deMiguel & Clemente-Suárez, 2018; Casa et al., 2010; Chlíbková, et al., 2016; Regulska-Ilow et al., 2014)

3.8.3. Teste de Atenção Distribuída

Recorreu-se ao Teste de Atenção Distribuída BAPCON, para avaliar a velocidade e capacidade de diferenciação de múltiplos estímulos. O teste consiste na ordenação por ordem crescente de 25 números (de 1 a 25), no menor tempo possível. Os algarismos encontram-se dispostos aleatoriamente no ecrã táctil do computador e o participante tinha de tocar no quadrado correspondente ao número, para proceder à ordenação. Foi permitido aos participantes um ensaio de adaptação aos procedimentos, onde organizaram por ordem crescente 9 algarismos. A aplicação do teste foi feita por um colaborador devidamente treinado para o efeito.

3.8.4. Percepção Subjetiva de Esforço

Para avaliar o grau fadiga sentida pelos participantes, mediu-se a percepção subjetiva do esforço recorrendo à escala de Borg Modificada no final do protocolo de corrida, numa escala de 0 (nada cansativo - repouso) a 10 (extremamente cansativo - esforço máximo).

3.8.5. Percurso de Indução de Fadiga

Foi desenhado um percurso de indução de fadiga em terreno acidentado, recorrendo ao terreno adjacente ao local de recolha de dados. O percurso era circular, com uma distância de 6.55 km e com 215 metros de desnível acumulado positivo (Figura 9). As coordenadas geográficas do início do percurso eram: N 39,983058°, -O 8,574220°.

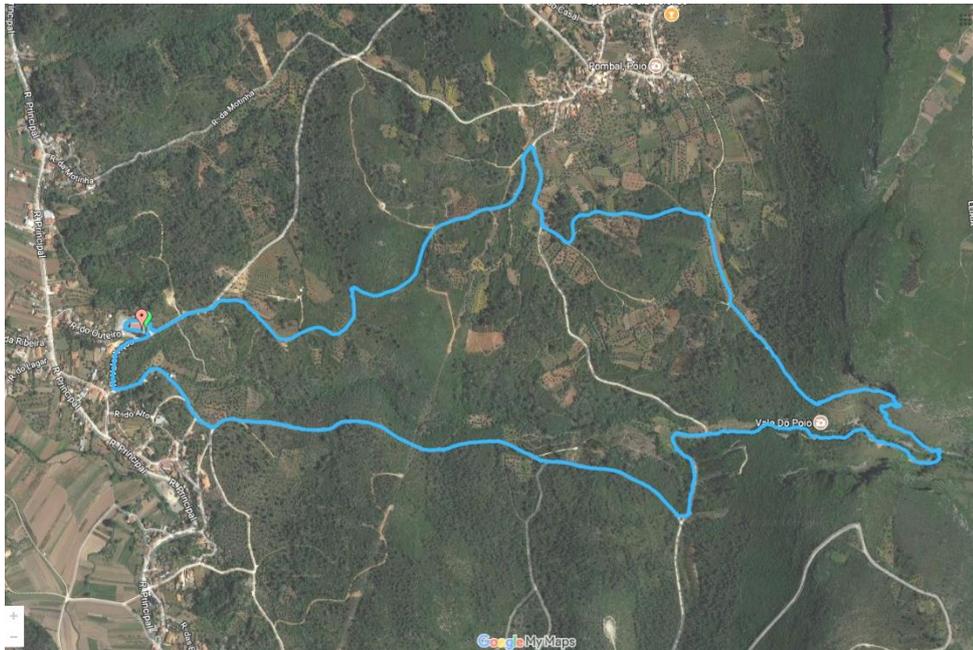


Figura 9: Percurso de treino para indução da fadiga².

Era requerido aos participantes que completassem 4 voltas, perfazendo o total de 26.2km e um desnível acumulado positivo de 860 metros (Figura 10), qualificando o percurso como sendo de categoria 2 (3.3), de acordo com os parâmetros definidos pela Associação de *Trail* Running de Portugal (ATRP, 2018).

Em termos de classificação internacional, e de acordo com a entidade internacional que enquadra as provas de *trail* (International *Trail* Running Association), esta prova não chegaria, contudo, a dar qualquer ponto ITRA. Apesar da distância e declive acumulado serem suficientes para a atribuição de 1 ponto, o facto de ser uma prova por voltas diminuir-lhe-ia o grau de dificuldade (ITRA, 2018).

A marcação do percurso foi feita com fita de plástico listada, vermelha e branca, similar à tipicamente utilizada nas provas de *trail*. Adicionalmente, os participantes tiveram acesso prévio a um ficheiro *.gpx com a marcação do percurso.

² Percurso criado pelo autor e disponível ao público em https://drive.google.com/open?id=1Oz_keEsmva29p8o_VgEt7YGhRFVJG023&usp=sharing

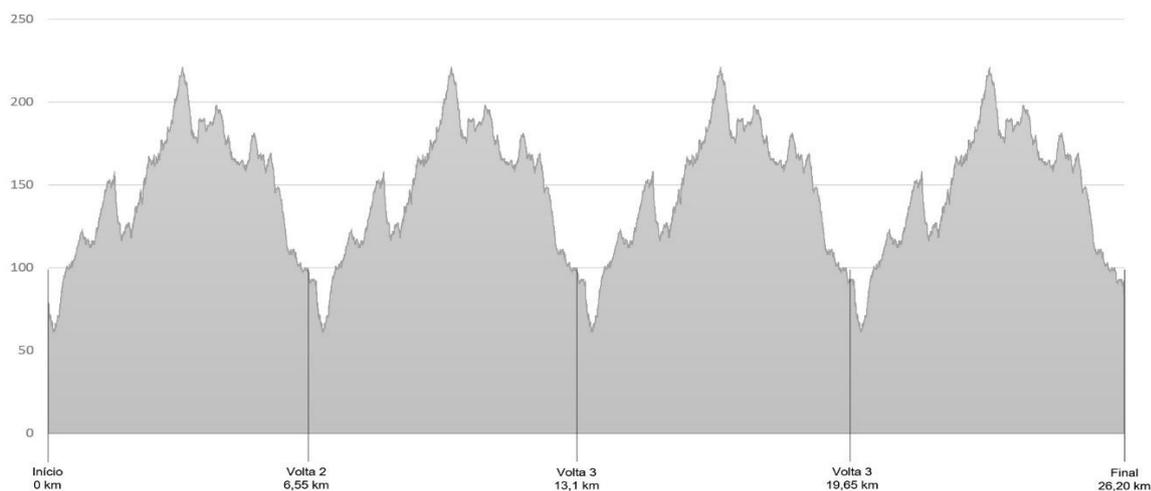


Figura 10: Gráfico de altimetria do percurso.

O abastecimento foi feito no final de cada volta, tendo sido fornecido aos participantes água, frutos secos (amendoins, amêndoas, caju e arandos secos), fruta (laranjas e bananas) e marmelada. A ingestão de alimentos ou bebidas durante a corrida decorreu *ad libitum*.

As provas decorreram do dia 21 a 24 de julho 2017, com saídas na parte da manhã, das 08h00 às 10h, e de tarde das 17h às 18h. Os valores de temperatura do ar durante a prova situaram-se entre os 21° e os 35°, tendo estes valores sido registados através de consulta através da aplicação informática METEO@ipma (IPMA, 2017).

3.8.6. *Eye Tracking Glasses*

Para a captura dos movimentos dos olhos foram utilizados os SMI ETG 2W um sistema de rastreamento dos movimentos dos olhos que consiste nuns óculos que monitorizam e gravam os movimentos dos olhos (Figura 11). É composto por 3 câmaras: uma camara frontal e uma câmara para cada olho.

Na parte frontal dos óculos existe uma câmara (30 Hz) que regista a imagem visível da visão central. No interior dos óculos existem LED infravermelhos binoculares que incidem sobre a íris, circundando a pupila. As câmaras (60Hz) registam os movimentos dos olhos e rastreiam a posição das pupilas a cada instante, permitindo saber para onde o participante dirige o seu olhar.



Figura 11: Sistema de Eye Tracking Glasses utilizado para a recolha de dados provenientes dos movimentos dos olhos, composto pelos óculos e por um smartphone destinado ao armazenamento dos dados (Laboratório Robocorp – IIA – IPC).

O sistema grava o campo de visão correspondente à direção do olhar dos dois olhos sobrepondo o ponto de convergência do olhar no cenário gravado através da câmara frontal. Os erros de paralaxe são compensados de forma automática e tem uma precisão de $0,5^\circ$ para todas as distâncias, conforme descrito no manual de instruções do aparelho (iViewETG User Guide, versão 2.0 de 2013).

3.8.7. Procedimentos

O processo de recolha de dados decorreu, para cada participante, em dois momentos distintos, antes e após a indução de fadiga.

À chegada, os participantes eram recebidos pela equipa de investigação e dirigidos aos balneários para se equiparem para a prova. Cada participante trouxe o seu equipamento, tendo sido solicitado que corresse em regime de semi-autonomia.

De seguida, os participantes procediam ao preenchimento da declaração de consentimento informado e eram informados sobre os objetivos e procedimentos de pesquisa (cf. Apêndice 1).

Foram observados os seguintes procedimentos experimentais e instruções verbais em ambas as situações:

1. Foram recolhidas as medidas antropométricas e de composição corporal, concentração de lactato e aplicado o teste de atenção distribuída BAPCON na sala destinada para o efeito;
2. Foi colocado nos participantes o material de recolha de dados: *ETG* e mochila, contendo o *smartphone* para armazenamento dos dados;
3. Procedeu-se à calibração dos *ETG*, recorrendo ao método de calibração de 3 pontos. Os participantes colocavam-se em pé, a uma distância de 2,5 metros do alvo de calibração, e fixavam o olhar nos alvos;
4. Conduziu-se o participante para a pista de testes, colocando-o na posição de partida;
5. Foi dada a instrução verbal:

“Ao ouvir o som “beep”, faça o percurso delineado 10 vezes à velocidade máxima que considerar adequada para o terreno. No final de cada volta, volte sempre pelo lado esquerdo do percurso. Sempre que entrar na pista, olhe inicialmente para a câmara que se encontra à sua frente, no final da pista.”;
6. Após a primeira prova, sem fadiga instalada, era retirado aos participantes todo o material de recolha de dados;
7. Dava-se início ao protocolo de indução de fadiga. Cada participante correu à velocidade que considerou apropriada, tendo-lhes sido solicitado que corressem à velocidade normal de corrida em prova e que procurassem não baixar de ritmo entre cada volta;
8. Os participantes foram questionados sobre a sensação de esforço percebido (Perceção Subjetiva de Esforço através da Escala de Borg Modificada) imediatamente após o término do protocolo de indução de fadiga;
9. Em seguida, repetiu-se os procedimentos 1 a 5, anteriormente descritos.

Os *ETG* iniciavam a gravação logo após o momento da calibração. A sincronização com a câmara de vídeo era feita através do som “*beep*”, proveniente de um

computador, que dava início ao teste. Deste modo, apenas um investigador foi necessário para dar o início ao processo de recolha de dados em todos os aparelhos.

Durante a prova, foi pedido a todos os presentes que mantivessem silêncio, mantendo a zona envolvente à pista de testes privada. O investigador principal foi indicando ao participante o número total de voltas, bem como o número de voltas que faltavam para completar a prova.

No final de cada volta, os participantes olhavam para câmara que se situava no final da pista de corrida (a cerca de 25 metros de distância). Este olhar serviu para, durante a análise dos dados, se procedesse a uma calibração *offset* do sistema, evitando desta forma eventuais desvios de calibração decorrente de desajustes dos ETG provocados pela corrida.

3.9. Tratamento dos Dados

3.9.1. Codificação dos dados do ETG

Foram definidas 5 Áreas de Interesse (AOI): i) *Start* – Zona inicial da pista de testes; ii) *Ground* – Superfície irregular composta maioritariamente por terra, pequenos seixos e ramos, dentro da pista de testes; iii) *Rocks* – Terreno composto por pedras com tamanho suficiente para que o participante tivesse que as saltar ou pisar; iv) *End* – Zona final da pista de testes; v) *Out* – zona adjacente à pista de testes, com uma largura de 2 metros para ambos os lados.

Foram também definidas 3 zonas de terreno: i) terra batida, sem obstáculos; ii) terra batida, com pedras e obstáculos; iii) terreno plano, de cimento. A zona i era uma zona de aproximação. A zona ii era a de interesse, onde os participantes teriam de navegar o terreno contornando, saltando ou pisando as pedras. Por fim, a zona iii era de retorno ao início da pista de testes.

O número e tempo de fixações em cada AOI foi contabilizado, codificado e analisado recorrendo ao software BeGaze, versão 3.7, específico para o tratamento dos dados provenientes do sistema de ETG. Os vídeos foram analisados recorrendo a uma

metodologia de análise por fixações. Esta opção metodológica foi sustentada na evidência de que este método apresenta validade suficiente (correlação de Pearson de 0,930), quando comparado com a metodologia de análise por *frame* (Vansteenkiste, Cardon, Philippaerts, & Lenoir, 2015). Esta opção de codificação é também significativamente mais rápida.

Para a definição das fixações, foram utilizadas as predefinições do Software BeGaze versão 3.7, que considerava como fixação uma sacada de duração igual ou superior a 100 ms.

O registo das fixações foi feito recorrendo à funcionalidade “Semantic Gaze Mapping” do software supramencionado. Foi utilizada uma imagem representativa do percurso (Figura 12), retirada de um *frame* do percurso de um dos participantes, que serviu como imagem de referência.



Figura 12: Imagem de referência utilizada para proceder à codificação dos dados provenientes dos ETG.

Com o intuito de evitar a variabilidade inter-observador, os dados foram classificados apenas pelo investigador principal. O processo de codificação obedeceu aos seguintes procedimentos:

1. Identificação do momento de início da prova, coincidente com o “beep” sonoro indicativo do início do teste, marcando o momento no software com a anotação “START”;
2. Retrocesso do vídeo até ao momento da fixação no alvo que serviu de referência para a calibração *offset*;
3. Calibração *offset* da fixação do participante;
4. Codificação da primeira volta das fixações em função das AOI, fazendo-a coincidir com a área previamente definida na imagem de referência, através do *Semantic Gaze Mapping*;
5. Ao chegar ao início da pista, repetição dos passos 3 e 4 para cada uma das voltas feitas pelo participante;
6. No final do teste, anotar no software a marca “END”, que sinalizou o término dos dados analisados;
7. Voltar ao ponto “START” e definir no campo anotações as zonas do terreno (1, 2 e 3), com base no vídeo. Estas anotações foram feitas assumindo para a primeira parte do código os valores de 1 a 3, correspondente à zona, e os valores de 01 a 10 para a volta (e.g.: 1.01 - zona 1, volta 1; 2.01 - zona 2, volta 1; 3.10 - zona 3, volta 10, ...).

Os resultados foram depois exportados em formato *.csv e preparados para análise estatística.

3.9.2. Variabilidade intra-observador

Para verificar a variabilidade intra-observador, foram selecionados aleatoriamente para análise os dados de 3 participantes (2 não-*experts* e 1 *expert*), que foram novamente codificados, representando 10% da amostra válida. A fiabilidade foi calculada através do Alfa de Cronbach para as fixações nos AOI, tendo os resultados mostrado uma boa consistência interna, com valores de 0,98, 0,99 e 0,99 para cada participante analisado.

Não houve a necessidade de verificar a fiabilidade dos dados obtidos para o número e tempos de fixações devido ao facto de estes terem sido calculados automaticamente através do algoritmo presente no *software* de análise utilizado, não havendo, portanto, variabilidade.

3.9.3. Análise estatística linear

Numa primeira fase foi feita, para cada condição (repouso e fadiga), a comparação entre os atletas experientes e não experientes ao nível dos indicadores de composição corporal, de lactato sanguíneo, da perceção subjetiva de esforço e do teste de atenção distribuída. Esta comparação foi feita através do teste *t* para amostras independentes.

Para cada nível de prática (experts e não-experts), a comparação entre o pré e pós prova de indução de fadiga ao nível dos indicadores de composição corporal, de concentração de lactato sanguíneo, de perceção subjetiva de esforço e do teste de atenção distribuída foi feita através do teste *t* para amostras emparelhadas.

Para cada condição, a comparação entre praticantes experts e não experts, ao nível das variáveis respeitantes ao número e tempos de fixação nos AOI, da entropia visual, da entropia de transições de estado e dos valores de variabilidade dos movimentos dos olhos e da amplitude das sacadas foi efetuada recorrendo ao teste *t* para amostras independentes.

Para cada nível de prática, a comparação entre o pré e pós prova de indução de fadiga ao nível das variáveis acima descritas, foi feita recorrendo ao teste *t* para amostras emparelhadas.

Todos os testes estatísticos acima referidos foram feitos após a validação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade. O pressuposto de normalidade para cada uma das variáveis dependentes univariadas foi examinado utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov, quando $n \geq 30$. Quando o pressuposto da normalidade de cada variável dependente não se verificou, considerando que $n \geq 30$ e usando o Teorema do Limite Central (Laureano, 2011; Marôco, 2010; Pestana & Gageiro, 2008) este pressuposto foi assumido. No caso de as amostras serem inferiores a 30, o pressuposto

da normalidade foi averiguado usando o teste de Shapiro-Wilk (O'Donoghue, 2013) e de Levene, para a igualdade de variâncias (Pallant, 2011). Se não se verificasse a normalidade da distribuição da amostra, a simetria seria avaliada através da seguinte equação (Ghasemi & Zahediasl, 2012):

$$\left| \frac{Skewness}{Std\ error\ Skewness} \right| \leq 1,96$$

A magnitude do efeito foi medida através do teste d de Cohen (d), tendo adotado o critério apresentado na Tabela 3 (O'Donoghue, 2013; Sawilowsky, 2009).

Tabela 3 - Valores de referência para a interpretação da dimensão do efeito através do d de Cohen.

Dimensão do Efeito	d
Muito pequena	< 0,01
Pequena]0,01; 0,20]
moderada]0,20; 0,50]
grande]0,50; 0,80]
Muito grande]0,80; 1,20]
Enorme	< 1,20;

A análise estatística foi feita com o Software IBM SPSS© (versão 25.0) para o Microsoft Windows©, tendo sido definido um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3.9.4. Análise não linear

As técnicas não lineares utilizadas na análise dos dados foram a Entropia Visual, a Entropia das Transições de Estado recorrendo às matrizes de transição de 1.^a ordem de Markov e à Entropia de Shannon (Gilland, 2008; Holmqvist et al., 2015; Schieber & Gilland, 2008), a Entropia Aproximada (ApEn), a *Sample Entropy* (SampEn), o Expoente de Lyapunov (ExpLyap) e o Expoente de Hurst (Stergiou, 2016).

Foi utilizado o programa UPATO (Martins et al., 2018) para proceder à computação das séries temporais utilizadas na análise não linear dos dados.

3.9.4.1. *Entropia Visual*

As transições entre as 5 AOI foram caracterizadas através do cálculo das matrizes de frequência de transição de primeira ordem de $p(\text{de } i \text{ para } j)$, onde i representa o AOI de origem e j representa o AOI de destino. Foram calculadas as matrizes individualizadas para cada participante, em cada condição. Em seguida, para perceber o grau de variabilidade dos padrões de fixação nos AOI, foi calculada a Entropia de Shannon, tal como recomendado por diversos autores (Allsop & Gray, 2014; Holmqvist et al., 2015; Schieber & Gilland, 2008).

Os valores de entropia foram depois relativizados em função do valor máximo possível para cada participante, para que fosse possível efetuar comparações entre os participantes e entre os grupos. Esta normalização consistiu na divisão do valor de entropia obtido para cada sujeito pelo valor máximo de entropia que aquela série temporal permitia. Com este procedimento, foi possível comparar os valores entropia de diferentes participantes, uma vez que os valores só poderiam variar entre 0 e 1.

3.9.4.2. *Entropia das transições de estado*

A entropia das transições de estado foi calculada a partir das matrizes de transição feitas para a entropia visual. Estas foram convertidas em matrizes de probabilidade condicional de transição de $p(j|i)$, correspondente a uma matriz de Markov de 1.^a ordem, onde a probabilidade de fixar o AOI j é baseado na presente fixação no AOI i . O comportamento visual foi posteriormente quantificado através da Entropia de Shannon, de acordo com a seguinte fórmula:

$$- \sum_{j=1}^m p(Y_{ij}|X_i) \log_2 p(Y_{ij}|X_i)$$

Quando aplicada às matrizes de probabilidade de transição condicional, a entropia indica a previsibilidade ou não do comportamento de um determinado participante.

3.9.4.3. *Entropia aproximada e Sample Entropy*

Para o cálculo da entropia aproximada, usaram-se os valores reportados por Dias et al. (2011) e em Couceiro et al. (2014). Assim, os valores de entropia aproximada próximos de zero (0) indicam que o sinal/sistema tem grande regularidade, baixa variabilidade e pouca complexidade. Valores próximos de 0,1 são característicos de sinais/sistemas caóticos com alta variabilidade e complexidade (e.g., atrator de Lorenz). Por fim, valores superiores a 1,5 caracterizam um sinal/sistema com grande variabilidade, baixa complexidade e regularidade.

Não foram encontrados valores estandardizados para a Sample Entropy, pelo que a análise feita a este indicador é meramente quantitativa.

3.9.4.4. *Expoente de Lyapunov*

O cálculo do expoente de Lyapunov abrangeu os valores obtidos por Harbourne e Stergiou (2009). Neste sentido, valores próximos de zero (0) caracterizam um sinal/sistema periódico com grande periodicidade e regularidade. Por sua vez, valores próximos de 0,1 qualificam sinais/sistemas caóticos com grande variabilidade e complexidade, sendo que, valores maiores ou iguais a 0,4 caracterizam um sistema com pouca regularidade e grande variabilidade.

3.9.4.5. *Expoente de Hurst*

A determinação do expoente de Hurst foi feita de acordo com Stergiou (2016) e Aștefănoaei et al. (2014). Os valores encontrados foram posteriormente analisados à luz da interpretação que estes autores fizeram deste indicador. Assim, valores que se

aproximam de 0 são indicadores de uma correlação negativa, onde há tendência para diminuição dos valores. Valores que se aproximam de 1 indicam uma correlação positiva, onde há tendência de aumento dos valores ao longo da escala temporal. Valores de 0,5 indicam que a série se comporta de forma aleatória.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados de todas as medições efetuadas. Está dividido em três partes: i) apresentação dos dados gerais valores obtidos relativamente aos dados de caracterização dos dois grupos em estudo, bem como da variação dos resultados após o percurso de indução de fadiga; ii) apresentação dos resultados da análise estatística linear; iii) apresentação dos dados relativos à análise não linear, recorrendo aos valores de Entropia Visual, da Entropia de Transições de Estados, Entropia aproximada, *Sample Entropy*, Expoente de Lyapunov e Expoente de Hurst.

4.1. Efeito da prova nos participantes

As Tabelas 4 e 5 apresentam a caracterização dos participantes, em termos de composição corporal, antes e depois da prova. Quanto ao grupo dos *experts*, verificou-se que a prova produziu alterações significativas relativamente à composição corporal dos participantes em todas as variáveis analisadas, à exceção da quantidade de água corporal total.

Tabela 4: Variação da composição corporal dos atletas *experts* por efeito da prova.

	Pre	Post	Variação (%)	t	p	d
Peso (Kg)	67,06 ± 2,85	65,18 ± 2,70	-2,88	8,596	0,000**	1,48
MG (%)	7,11 ± 1,09	5,88 ± 0,82	-1,23	3,686	0,006**	1,27
MG (Kg)	4,62 ± 0,56	3,71 ± 0,72	-24,55	4,385	0,002**	1,41
MLG (Kg)	62,43 ± 3,02	61,47 ± 2,82	-1,57	3,491	0,008**	0,33
MM (Kg)	59,67 ± 2,89	58,40 ± 2,69	-1,58	3,44	0,009**	0,45
TBW (Kg)	41,86 ± 1,86	41,33 ± 1,74	-1,26	1,873	0,098	0,29
TBW (%)	62,53 ± 0,73	63,42 ± 0,59	0,89	-2,595	0,032**	1,28
BM	3,11 ± 0,14	3,07 ± 0,13	-1,45	2,53	0,035**	0,3
Lactato (mmol/L)	5,34 ± 1,19	12,48 ± 2,05	133,7	-3,598	0,007**	4,26

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$). **Legenda:** MG – Massa Gorda; MLG – Massa Livre de Gordura; MM – Massa Magra; TBW – Água Corporal Total; BM – Densidade Óssea

Relativamente aos não *experts*, verificou-se que houve menos variáveis com alterações significativas por efeito da prova, bem como a magnitude destas diferenças foi menor. Foram encontradas diferenças significativas ao nível da massa corporal ($t = 6,025$; $p = 0,001$; $d = 0,45$; dimensão do efeito moderada), da percentagem de massa gorda ($t = 3,145$; $p = 0,014$; $d = 0,68$; dimensão do efeito grande) e da quantidade de massa gorda ($t = 3,471$; $p = 0,008$; $d = 0,97$; dimensão de efeito muito grande).

Tabela 5: Variação da composição corporal dos atletas não *experts* por efeito da prova.

	Pre	Post	Variação (%)	t	p	d
Peso (Kg)	75,53 ± 3,33	74,08 ± 3,13	-1,96	6,025	0,001**	0,45
MG (%)	12,62 ± 2,07	11,26 ± 1,90	-1,37	3,142	0,014**	0,68
MG (Kg)	9,39 ± 1,31	8,20 ± 1,15	-12,14	3,471	0,008**	0,97
MLG (Kg)	66,14 ± 3,47	65,88 ± 3,29	-0,40	0,84	0,425	0,07
MM (Kg)	62,87 ± 3,31	62,62 ± 3,14	-0,39	0,806	0,444	0,08
TBW (Kg)	44,78 ± 2,19	44,89 ± 2,23	0,24	-0,311	0,763	0,05
TBW (%)	59,24 ± 1,27	60,09 ± 1,16	0,84	-2,158	0,063	0,7
BM	3,28 ± 0,16	3,26 ± 0,15	-0,68	1,000	0,347	0,13
Lactato (mmol/L)	4,51 ± 1,27	13,21 ± 2,24	192,9	-2,871	0,021**	4,78

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$). **Legenda:** MG – Massa Gorda; MLG – Massa Livre de Gordura; MM – Massa Magra; TBW – Água Corporal Total; BM – Densidade Óssea

As tabelas 4 e 5 mostram ainda, na última linha de cada, a evolução da concentração de lactato sanguíneo. Verificamos que houve acumulação significativa de lactato em ambos os grupos [(experts: $t = -3,598$; $p = 0,007$; $d = 4,26$; dimensão do efeito enorme); (não experts: $t = -2,871$; $p = 0,021$; $d = 4,78$; dimensão do efeito enorme)].

No que diz respeito às diferenças entre os grupos à partida (Tabela 6) as principais diferenças significativas encontravam-se ao nível da percentagem de massa gorda ($t = 2,356$; $p = 0,036$; $d = 3,33$; dimensão do efeito enorme), da massa gorda ($t = 3,345$; $p = 0,004$; $d = 4,73$; dimensão do efeito enorme) e na percentagem de água corporal total ($t = -2,237$; $p = 0,044$; $d = 3,18$; dimensão do efeito enorme).

Apesar da inexistência de diferenças entre grupos ao nível da concentração de lactato sanguíneo (Tabela 6 e 7), é de salientar os valores elevados de lactato sanguíneo apresentados por ambos os grupos, em ambas as situações. Em termos globais, e à exceção de um atleta não *expert*, todos os participantes manifestaram uma variação positiva dos valores de concentração de lactato sanguíneo (Figura 13). Ao dividir os resultados por grupo, verificamos que os *experts* tiveram uma variação nominal positiva de 7,14 mmol/L (133,7%), enquanto os atletas não *experts* variaram positivamente em 8,70 mmol/L (192,9%).

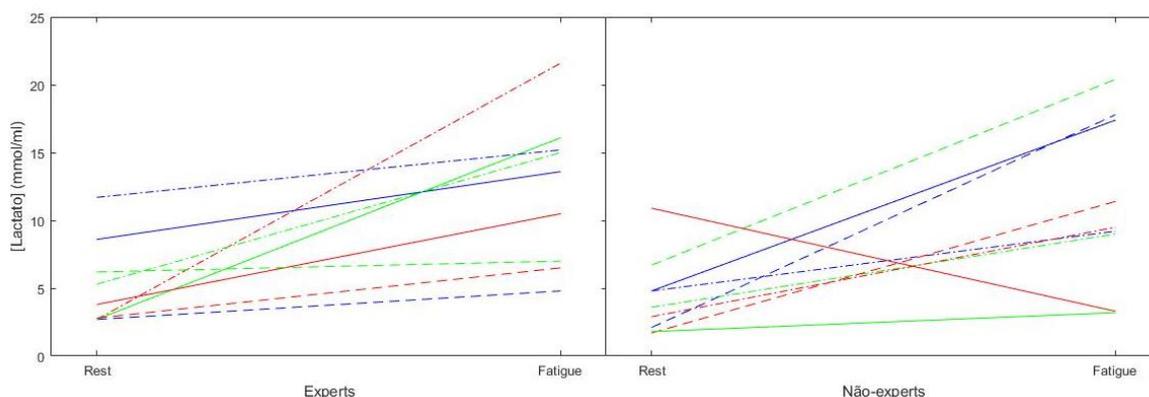


Figura 13: Variação individual da concentração de lactato em atletas *experts* e não *experts*.

Tabela 6: Comparação dos parâmetros da composição corporal de atletas *experts* e não *experts* na condição de repouso.

Repouso					
	<i>Experts</i>	Não <i>Experts</i>	t	p	<i>d</i>
Peso (Kg)	67,06 ± 2,85	75,53 ± 3,33	1,931	0,071	2,73
MG (%)	7,11 ± 1,09	12,62 ± 2,07	2,356	0,036**	3,33
MG (Kg)	4,62 ± 0,56	9,39 ± 1,31	3,345	0,004**	4,73
MLG (Kg)	62,43 ± 3,02	66,14 ± 3,47	0,807	0,432	1,14
MM (Kg)	59,67 ± 2,89	62,87 ± 3,31	0,808	0,431	1,03
TBW (Kg)	41,86 ± 1,86	44,78 ± 2,19	1,018	0,324	1,44
TBW (%)	62,53 ± 0,73	59,24 ± 1,27	-2,237	0,044**	3,18
BM	3,11 ± 0,14	3,28 ± 0,16	0,788	0,442	1,13
Lactato (mmol/L)	5,34 ± 1,19	4,51 ± 1,27	-0,552	0,589	0,67

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$). **Legenda:** MG – Massa Gorda; MLG – Massa Livre de Gordura; MM – Massa Magra; TBW – Água Corporal Total; BM – Densidade Óssea

A prova aumentou as diferenças entre os grupos de participantes (cf. Tabela 7). Para além da manutenção das diferenças existentes à partida, verificámos que houve ainda diferenças significativas no que à massa corporal diz respeito ($t = 2,152$; $p = 0,047$; $d = 3,04$; dimensão do efeito enorme).

Tabela 7: Comparação dos parâmetros da composição corporal de atletas *experts* e não *experts* na condição de fadiga.

Fadiga					
	<i>Experts</i>	Não- <i>Experts</i>	t	p	<i>d</i>
Peso (Kg)	65,18 ± 2,70	74,08 ± 3,13	2,152	0,047**	3,04
MG (%)	5,88 ± 0,82	11,26 ± 1,90	2,601	0,025**	3,68
MG (Kg)	3,71 ± 0,72	8,20 ± 1,15	3,708	0,002**	4,68
MLG (Kg)	61,47 ± 2,82	65,88 ± 3,29	1,017	0,325	1,44
MM (Kg)	58,40 ± 2,69	62,62 ± 3,14	1,02	0,323	1,44
TBW (Kg)	41,33 ± 1,74	44,89 ± 2,23	1,255	0,228	1,78
TBW (%)	63,42 ± 0,59	60,09 ± 1,16	-2,56	0,025**	3,62
BM	3,07 ± 0,13	3,26 ± 0,15	0,851	0,356	1,21
Lactato (mmol/L)	12,48 ± 2,05	13,21 ± 2,24	-0,368	0,718	0,34

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$). **Legenda:** MG – Massa Gorda; MLG – Massa Livre de Gordura; MM – Massa Magra; TBW – Água Corporal Total; BM – Densidade Óssea

A Tabela 8 apresenta os valores da média da distância total percorrida e ritmo médio (*pace*) durante a prova. De notar que os atletas pertencentes ao grupo dos *experts* foram mais rápidos do que os não *experts*.

Tabela 8: Média e Desvio Padrão da distância total percorrida, ritmo, e Percepção Subjetiva de Esforço dos atletas no percurso de *trail*.

	Distância (km)	Pace (min/km)	Percepção subjetiva de Esforço
<i>Non-experts</i>	22,86 ± 3,29	7'37" ± 1'27"	8,89 ± 1,17
<i>Experts</i>	26,76 ± 0,55	5'09" ± 0'31"	6,77 ± 0,97

Os atletas não *experts* perceberam a prova como sendo mais cansativa, tendo inclusivamente um atleta desistido ao final da terceira volta. Isto não impediu a sua inclusão no estudo, uma vez que o objetivo primordial era a instalação de um estado de fadiga central, algo que foi atingido.

4.2. Teste de Atenção Distribuída

Os atletas *experts* foram, em média, mais lentos do que os não *experts* na concretização da tarefa, tanto antes como após a prova (Tabela 9). Não foram, contudo, encontradas diferenças estatisticamente significativas que sustentassem esta evidência.

Tabela 9: valores médios obtidos pelos atletas no teste de atenção distribuída.

	<i>Não-experts</i>		<i>Experts</i>	
	PRÉ	PÓS	PRÉ	PÓS
Tempo total	41,22 ± 3,87	36,78 ± 2,72	47,33 ± 6,02	39,78 ± 5,04
Média / estímulo	1,65 ± 0,16	1,47 ± 0,11	1,89 ± 0,72	1,59 ± 0,20

Decorrente da análise desta tabela, importa notar que, embora também sem evidência estatística, os atletas foram globalmente mais rápidos no pós-teste.

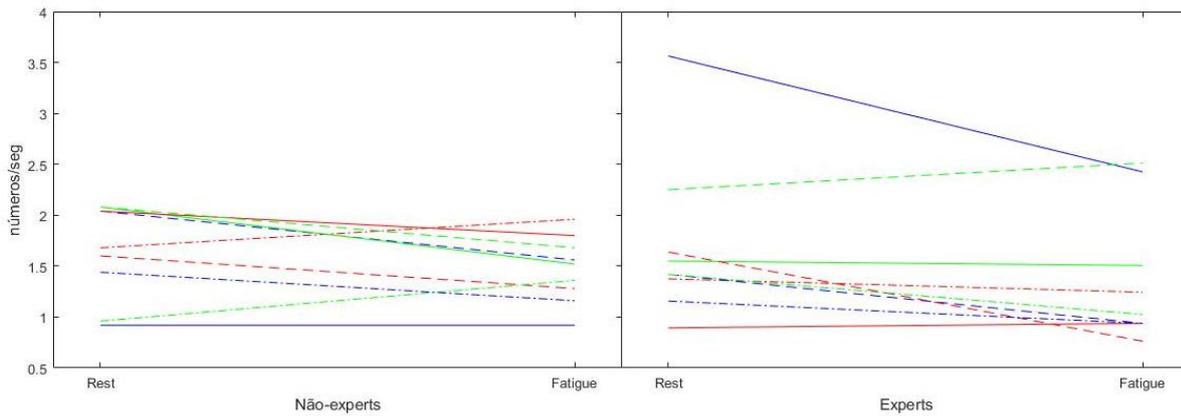


Figura 14: Variação dos valores obtidos pelos participantes no teste de atenção distribuída.

A Figura 14 apresenta a variação individual dos valores médios por estímulo obtidos pelos participantes no teste de atenção distribuída. Verificamos que, houve apenas dois não-*experts* e dois *experts* a serem mais lentos no teste.

4.3. Análise qualitativa ao olhar na corrida

Relativamente à velocidade de corrida na pista de testes, as velocidades médias foram similares durante a condição de repouso. Os participantes não-*experts* completaram as 10 voltas na pista a uma velocidade média de $11,57 \pm 0,86$ km/h, enquanto que os atletas *experts* foram ligeiramente mais rápidos ($12,85 \pm 1,52$ km/h). Apesar da diferença, não houve diferenças estatisticamente significativas.

Contudo, na condição de fadiga os corredores *experts* foram significativamente mais rápidos que os não-*experts* ($t = -3,141$, $p = 0,05$, $d = 1,65$; dimensão do efeito enorme), tendo os primeiros percorrido o percurso à velocidade de $12,94 \pm 1,07$ e os segundos a $10,40 \pm 1,89$ km/h.

Tabela 10: Comparação entre grupos do número médio de fixações por AOI e por volta, em ambas as condições.

	AOI	<i>Não-experts</i>	<i>Experts</i>	t	p	d
Repouso	Ground	10,17 ± 2,36	7,00 ± 2,09	2,739	0,018**	1,42
	Rock	4,20 ± 1,43	3,04 ± 1,11	1,742	0,109	0,91
	End	0,87 ± 0,67	0,90 ± 0,74	-0,078	0,939	0,01
	Out	0,29 ± 0,39	0,003 ± 0,004	2,043	0,062*	1,04
	Total	15,53 ± 2,97	10,97 ± 2,89	3,01	0,010**	1,56
Fadiga	Ground	9,04 ± 3,28	5,04 ± 1,65	2,923	0,018**	1,55
	Rock	4,89 ± 1,39	4,20 ± 1,37	0,96	0,355	0,50
	End	0,55 ± 0,65	1,55 ± 1,37	-2,171	0,052*	0,93
	Out	0,01 ± 0,01	0,36 ± 0,43	-2,124	0,053*	1,15
	Total	14,47 ± 4,45	11,16 ± 2,28	1,854	0,087*	0,94

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$). Tendência para uma diferença significativa ($p < 0,10$) indicadas com *.

Foram encontradas diferenças significativas entre *experts* e *não-experts* no número de total de fixações ($t = 3,010$, $p = 0,010$, $d = 1,56$; dimensão do efeito enorme), para a condição de repouso (Tabela 10). Foram ainda encontradas diferenças na condição de fadiga ($t = 2,923$, $p = 0,018$, $d = 1,54$; dimensão do efeito enorme) e repouso ($t = 2,739$, $p = 0,018$, $d = 1,42$; dimensão do efeito enorme) para o número de fixações no terreno acidentado. Quanto à duração das fixações, não foram encontradas diferenças significativas (Tabela 11).

Tabela 11: Duração média das fixações (em segundos) por AOI, para ambos os grupos e em ambas as condições.

	AOI	<i>Não-experts</i>	<i>Experts</i>	t	p	D
Repouso	Ground	0,18 ± 0,01	0,16 ± 0,007	1,194	0,259	2,32
	Rock	0,17 ± 0,007	0,15 ± 0,008	1,601	0,133	2,66
	End	0,16 ± 0,04	0,14 ± 0,005	0,578	0,573	4,42
	Out	0,19 ± 0,05	0,11 ± 0,02	1,256	0,239	2,10
	Total	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,608	0,559	0,63
Fadiga	Ground	0,17 ± 0,01	0,15 ± 0,002	1,257	0,231	2,77
	Rock	0,17 ± 0,01	0,16 ± 0,009	0,45	0,661	1,05
	End	0,09 ± 0,03	0,15 ± 0,005	-1,863	0,085*	2,79
	Out	0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,03	-0,292	0,775	0,45
	Total	0,12 ± 0,03	0,11 ± 0,03	0,303	0,767	0,33

Diferenças significativas indicadas com ******($p < 0,05$). Tendência para uma diferença significativa ($p < 0,10$) indicadas com *****.

No que diz respeito à análise em função da condição de fadiga para cada grupo, não foram encontradas diferenças significativas, conforme se pode verificar através da Tabela 12.

Tabela 12: Comparação entre grupos, do número médio de fixações por AOI em ambas as condições.

	AOI	Repouso	Fadiga	t	p	d
<i>Não-Experts</i>	Ground	10,17 ± 2,36	9,04 ± 3,28	1,046	0,336	0,40
	Rock	4,20 ± 1,43	4,89 ± 1,39	-1,499	0,185	0,49
	End	0,87 ± 0,67	0,55 ± 0,65	1,418	0,206	0,52
	Out	0,29 ± 0,39	0,01 ± 0,01	1,923	0,103	1,01
	Total	15,53 ± 2,97	14,47 ± 4,45	0,837	0,435	0,28
<i>Experts</i>	Ground	7,00 ± 2,09	5,04 ± 1,65	2,112	0,073*	1,04
	Rock	3,04 ± 1,11	4,20 ± 1,37	-1,524	0,171	0,93
	End	0,90 ± 0,74	1,55 ± 1,37	-1,211	0,265	0,59
	Out	0,003 ± 0,004	0,36 ± 0,43	-2,331	0,053*	1,17
	Total	10,97 ± 2,89	11,16 ± 2,28	-0,146	0,888	0,07

Diferenças significativas indicadas com ******($p < 0,05$). Tendência para uma diferença significativa ($p < 0,10$) indicadas com *****.

A amplitude das sacadas foi também estudada. Estas representam a amplitude do movimento dos olhos, estando intimamente associadas aos comportamentos de busca por informação no meio ambiente. As figuras 15 e 16 representam a distribuição típica da amplitude das sacadas feitas durante a corrida na pista para os participantes *experts* e *não-experts*. Estas são as representações dos atletas 5 e 14, respetivamente.

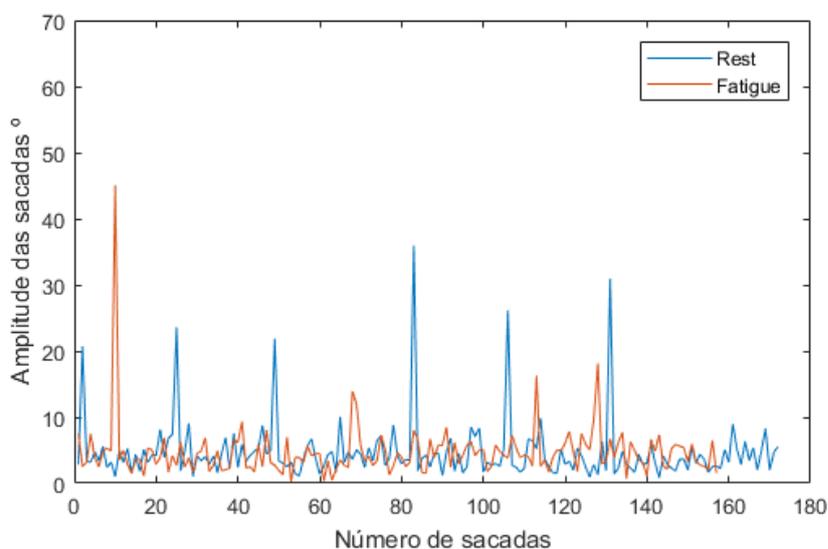


Figura 15: Padrão de amplitudes das sacadas (em graus) do participante número 5, não-expert, ao longo da pista, nas duas condições de prática.

É de salientar que as amplitudes sacádicas dos atletas *não-experts* parecem ser de maior dimensão, quando comparadas com as dos *experts*. Ao analisar a Figura 15, verificamos que parece haver uma estabilização da amplitude das sacadas com o tempo, indicando uma tendência de diminuição deste parâmetro. Ainda nesta figura, importa salientar a aparente redução do número e magnitude dos “picos” de amplitude, facto mais visível na condição de fadiga.

Este aparente comportamento é mais visível nos atletas *experts*. Os valores de amplitude das sacadas parecem manter-se altos, particularmente quando os atletas se encontram cansados e no início do teste. Ainda assim, pode verificar-se uma aparente diferença de magnitude da amplitude das sacadas a favor da condição de repouso.

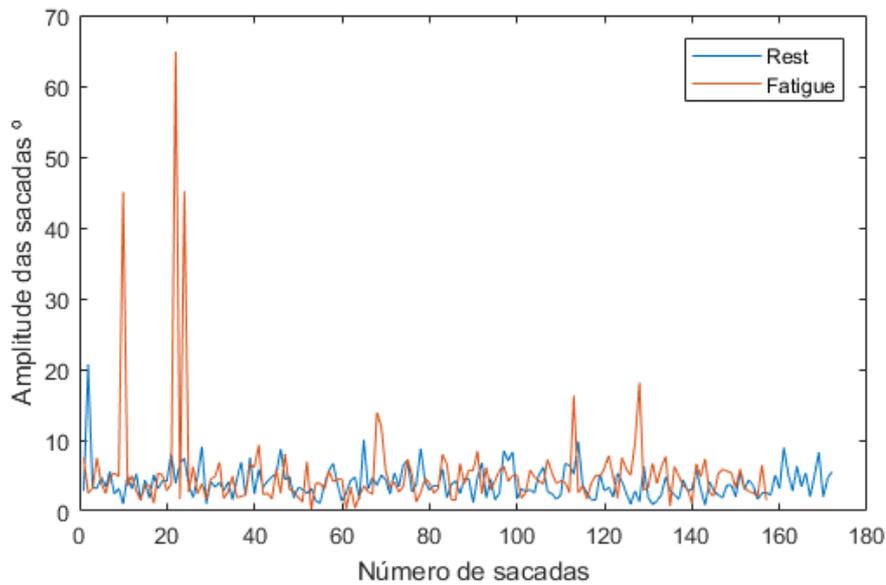


Figura 16: Padrão de amplitudes das sacadas (em graus) do participante número 14, *expert*, ao longo da pista, nas duas condições de prática.

A inspeção visual aos mapas de calor correspondentes ao padrão dos movimentos sacádicos dos participantes em torno do eixo xx e yy permite verificar um padrão que denota uma manifesta redução da variabilidade dos movimentos dos olhos da condição de repouso para a de fadiga, conforme podemos verificar através da comparação da Figura 17 e Figura 18.

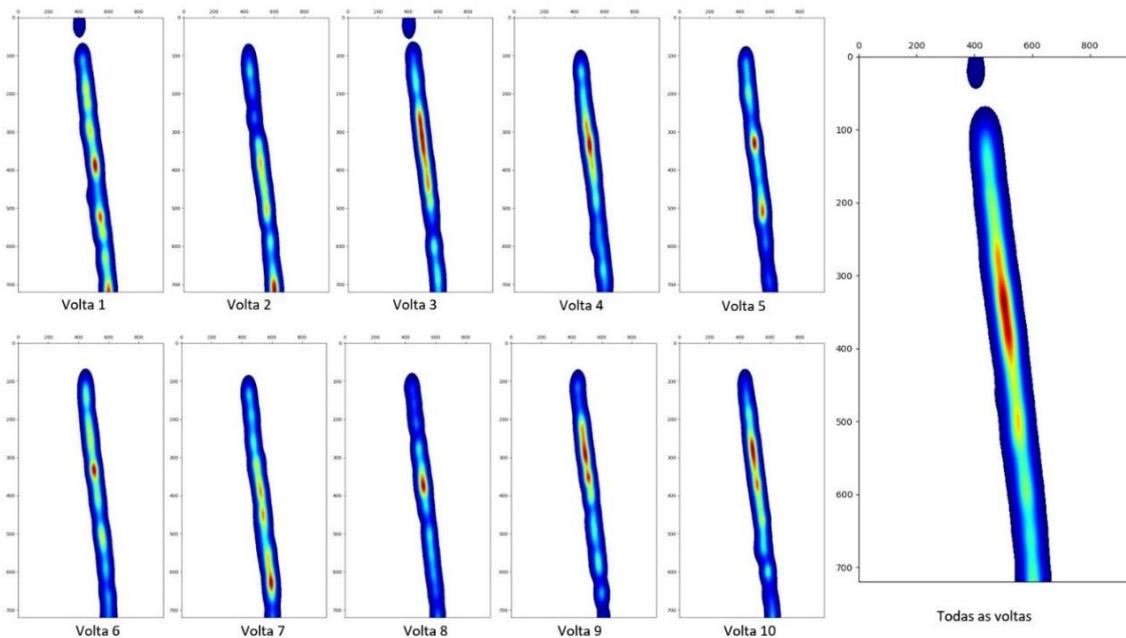


Figura 17: *Heat map* das sacadas do participante número 5, *não-expert*, na condição de repouso.

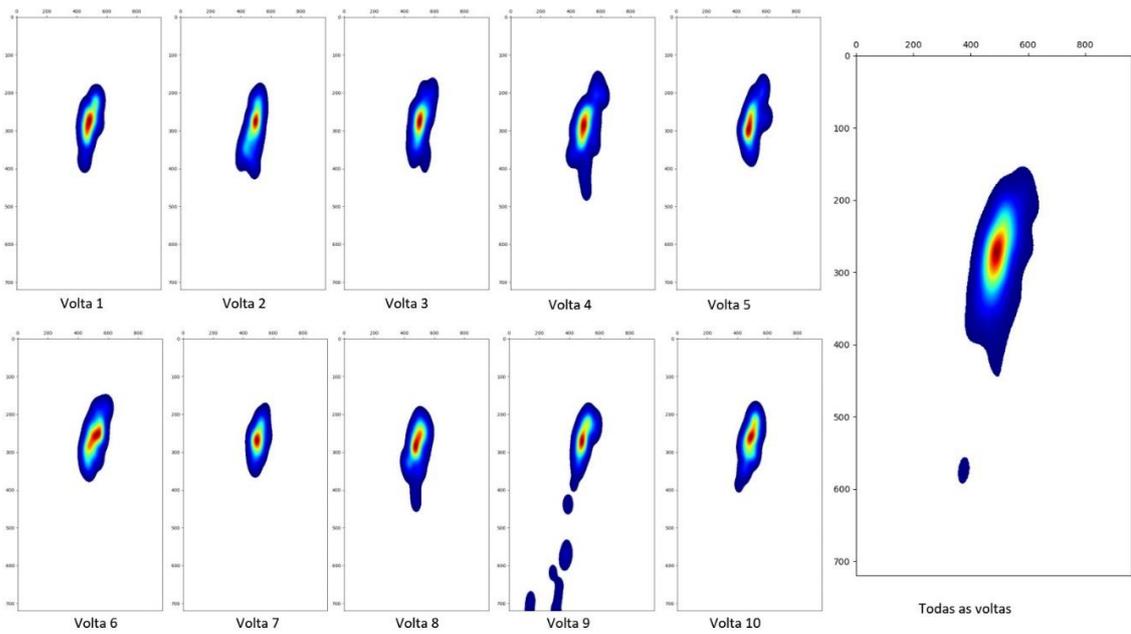


Figura 18: *Heat map* das sacadas do participante número 5, *não-expert* na condição de fadiga.

O mesmo se verifica para os participantes experts, embora com uma magnitude inferior, conforme podemos verificar pelas Figuras 19 e 20. Os restantes mapas de calor encontram-se presentes e disponíveis para consulta no Apêndice 2 deste trabalho.

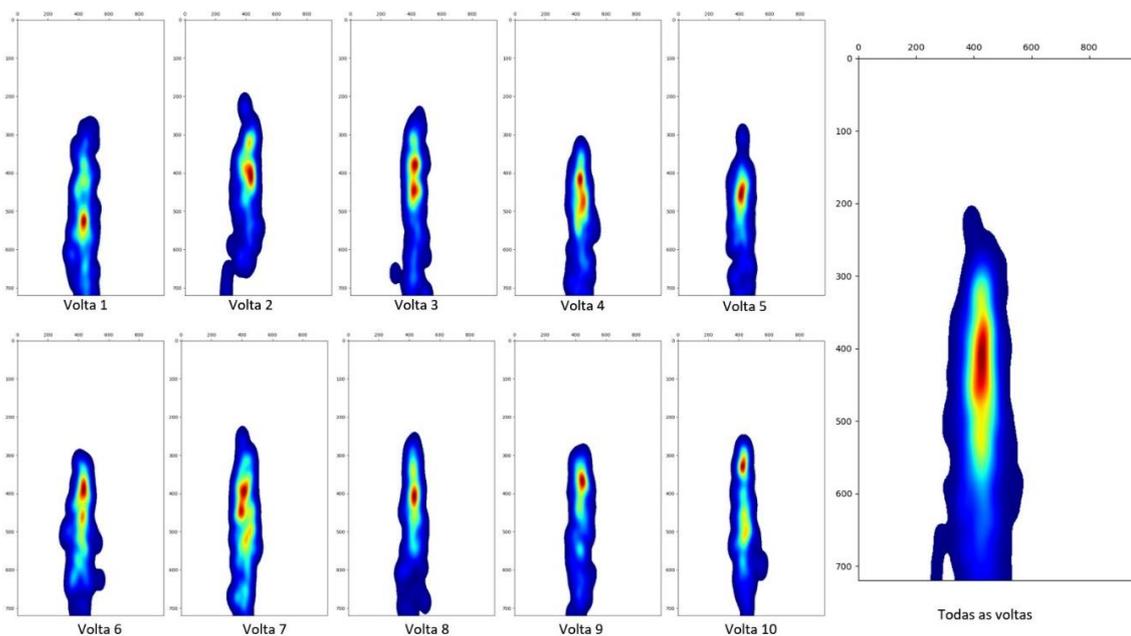


Figura 19: *Heat map* das sacadas do participante número 14, *expert* na condição de repouso.

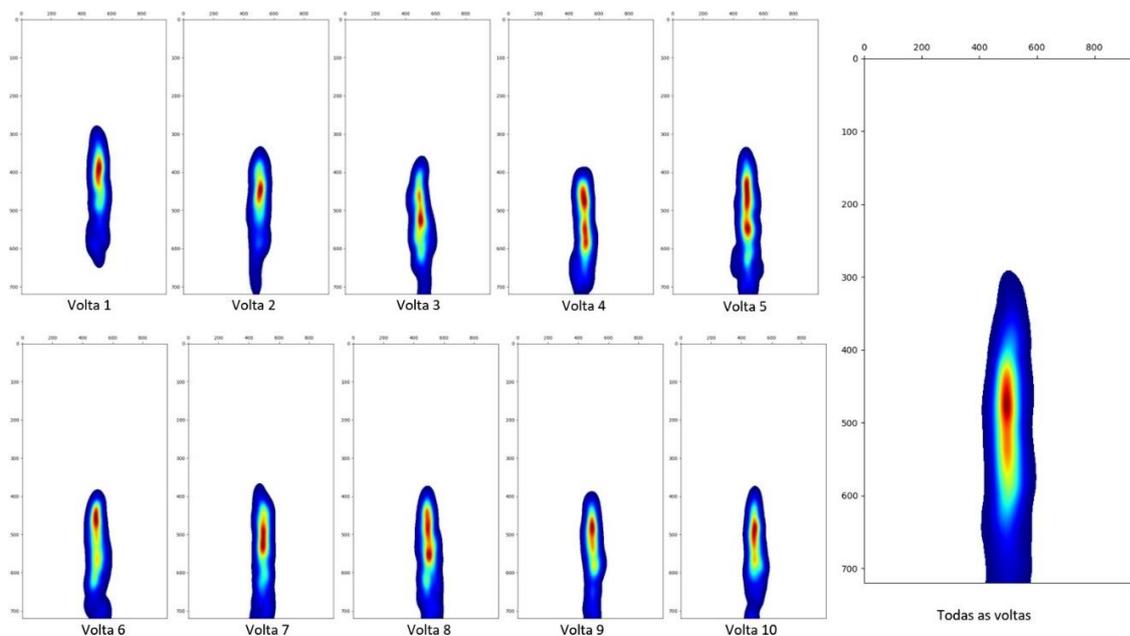


Figura 20: Heat map das sacadas do participante número 14, *expert* na condição de fadiga.

A análise estatística ao comportamento da amplitude das sacadas não revelou diferenças estatisticamente significativas entre grupos, tanto na condição de repouso como na de fadiga. A variação destes valores por efeito da fadiga induzida pelo percurso de corrida foi significativa tanto para os grupo de atletas *não-experts* ($t= 2,518$, $p= 0,045$, $d= 2,79$; dimensão do efeito enorme) como para os *experts* ($t= 3,777$, $P= 0,007$, $d= 3,97$; dimensão do efeito enorme), conforme podemos verificar através da análise das Tabelas 13 e 14.

Tabela 13: Comparação entre grupos para a amplitude das sacadas.

	<i>Experts</i>	<i>Não-experts</i>	t	p	d
AmpSacc_REST	4,497 ± 0,142	4,580 ± 0,274	0,474	0,644	0,38
AmpSacc_Fatigue	5,233 ± 0,220	5,366 ± 0,289	0,254	0,722	0,51

Diferenças significativas indicadas com ******($p<0,05$).

Tabela 14: Comparação dentro dos grupos para a amplitude das sacadas.

	Repouso	Fadiga	t	p	d
AmpSacc_EXPERTS	4,497 ± 0,142	5,233 ± 0,220	-3,777	0,007**	3,97
AmpSacc_NON-EXPERTS	4,580 ± 0,274	5,366 ± 0,289	-2,518	0,045**	2,79

Diferenças significativas indicadas com ******($p<0,05$).

4.4. Análise não linear

A análise não linear dos dados permitiu-nos perceber melhor o grau de variabilidade dos padrões de fixações e dos movimentos dos olhos, em termos quantitativos. Nesta parte do trabalho apresentam-se os valores referentes à Entropia Visual, à Entropia das Transições de Estados, da Entropia Aproximada, da *Sample Entropy*, do Expoente de Lyapunov e do Expoente de Hurst de cada atleta, divididos pelas categorias e condições definidas para o estudo. Posteriormente, procede-se à análise estatística dos valores dentro e entre os grupos, por forma a perceber as diferenças entre níveis de prática e a influência dos constrangimentos em estudo.

Os valores de entropia encontrados para a variabilidade dos padrões de fixações em *experts* e *não-experts* encontram-se representados na Figura 21. Os valores médios, para os atletas *não-experts*, são de 0,13 tanto na condição de repouso como na de fadiga. Para os *experts*, os valores de entropia foram superiores em ambas as condições, sendo 0,15 e 0,19, respetivamente.

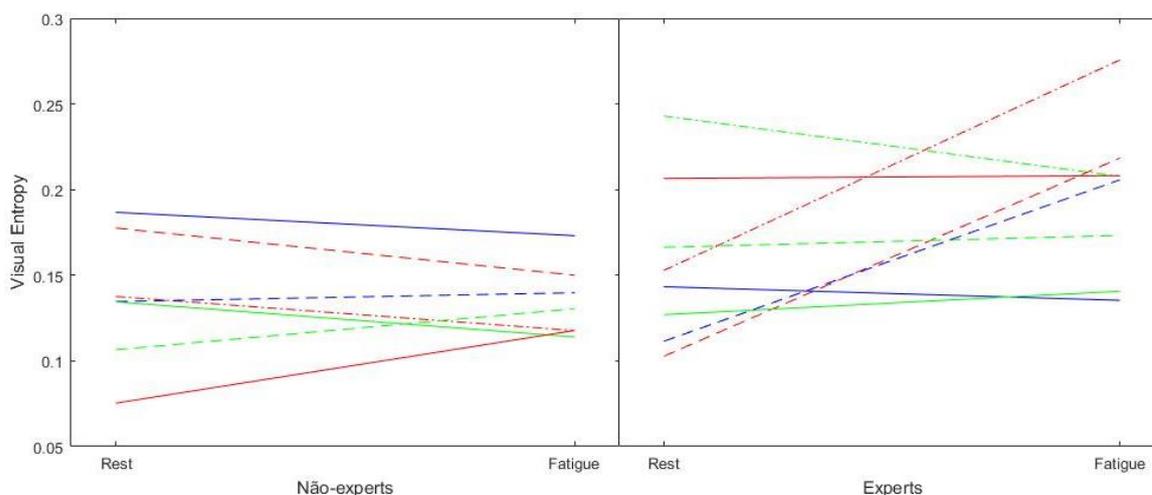


Figura 21: Variação individual da entropia em atletas *experts* e *não-experts*, antes e depois do percurso de indução de fadiga.

A Figura 22 mostra a distribuição por volta dos valores de entropia visual para as fixações dos participantes. Como podemos verificar, os valores parecem ser relativamente constantes ao longo das 10 voltas que compuseram o teste.

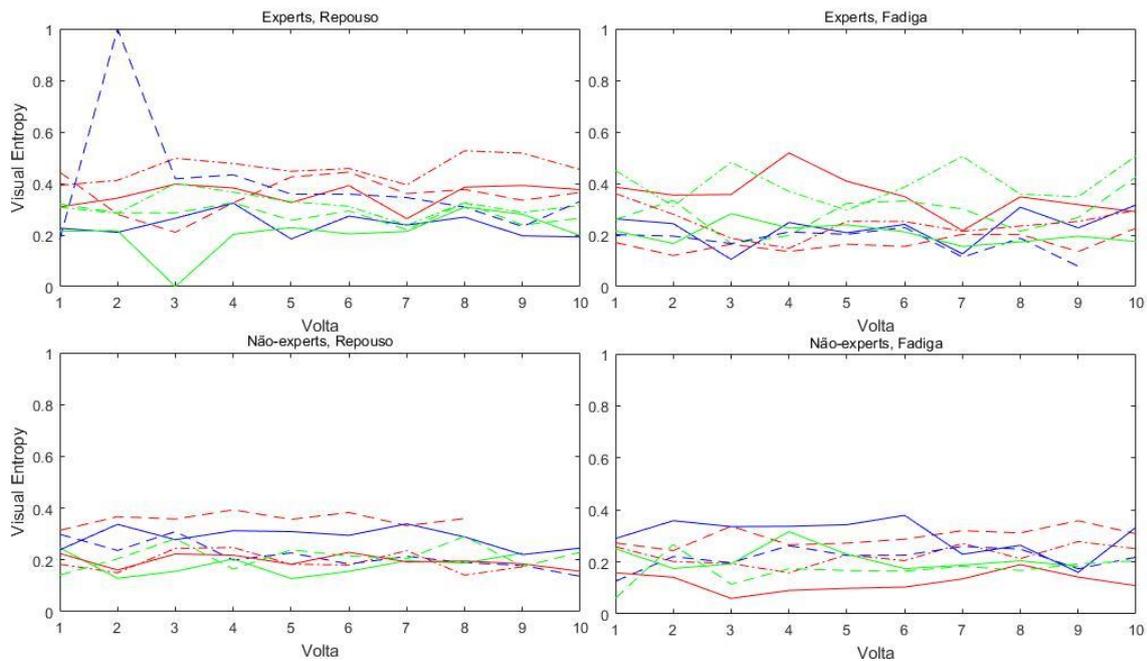


Figura 22: Variação individual da entropia por volta, para cada grupo e condição de prática.

Apesar da diferença nos valores médios, foi apenas encontrada evidência estatística na condição de fadiga ($t = -3,383$, $p = 0,007$, $d = 4,78$; dimensão do efeito enorme), ou seja, após o término do percurso de indução de fadiga (Tabela 15).

Tabela 15: Comparação entre grupos, da entropia visual, na condição de repouso e de fadiga.

	<i>Experts</i>	<i>Não-experts</i>	t	p	d
REST Sh_Entropy	0,1567 ± 0,017	0,1361 ± 0,015	0,920	0,374	1,30
FATIGUE Sh_entropy	0,1956 ± 0,016	0,1347 ± 0,008	3,383	0,007 **	4,78
REST Trans_State_Entropy	1,3284 ± 0,084	1,2945 ± 0,116	0,236	0,817	0,33
FATIGUE Trans_State_Entropy	1,2655 ± 0,062	1,2114 ± 0,070	0,577	0,572	0,82

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$).

No que diz respeito à análise intra-individual, não foi encontrada qualquer diferença significativa que comprovasse o efeito da fadiga nos valores de entropia apresentados em ambos os grupos, conforme se pode verificar através da análise da Tabela 16.

Tabela 16: Comparação dentro dos grupos, da entropia visual, na condição de repouso e de fadiga.

	Repouso	Fadiga	t	p	d
<i>EXPERTS</i> Sh_Entropy	0,1567 ± 0,017	0,1950 ± 0,016	-1,784	0,118	2,36
NON-EXP Sh_entropy	0,1361 ± 0,015	0,1347 ± 0,008	0,144	0,890	0,10
<i>EXPERTS</i> Trans_State_Entropy	1,3284 ± 0,084	1,2655 ± 0,062	0,548	0,601	0,85
NON-EXP Trans_State_Entropy	1,2945 ± 0,116	1,2114 ± 0,070	0,736	0,489	0,87

Diferenças significativas indicadas com ******($p < 0,05$).

A Figura 23 apresenta os valores de entropia nos dois eixos, antes e depois do percurso de indução de fadiga, para os atletas *experts* e *não-experts*. A inspeção visual à figura indica uma aparente diferença na dispersão dos valores de entropia entre os grupos e dentro dos mesmos, particularmente no grupo de *experts*.

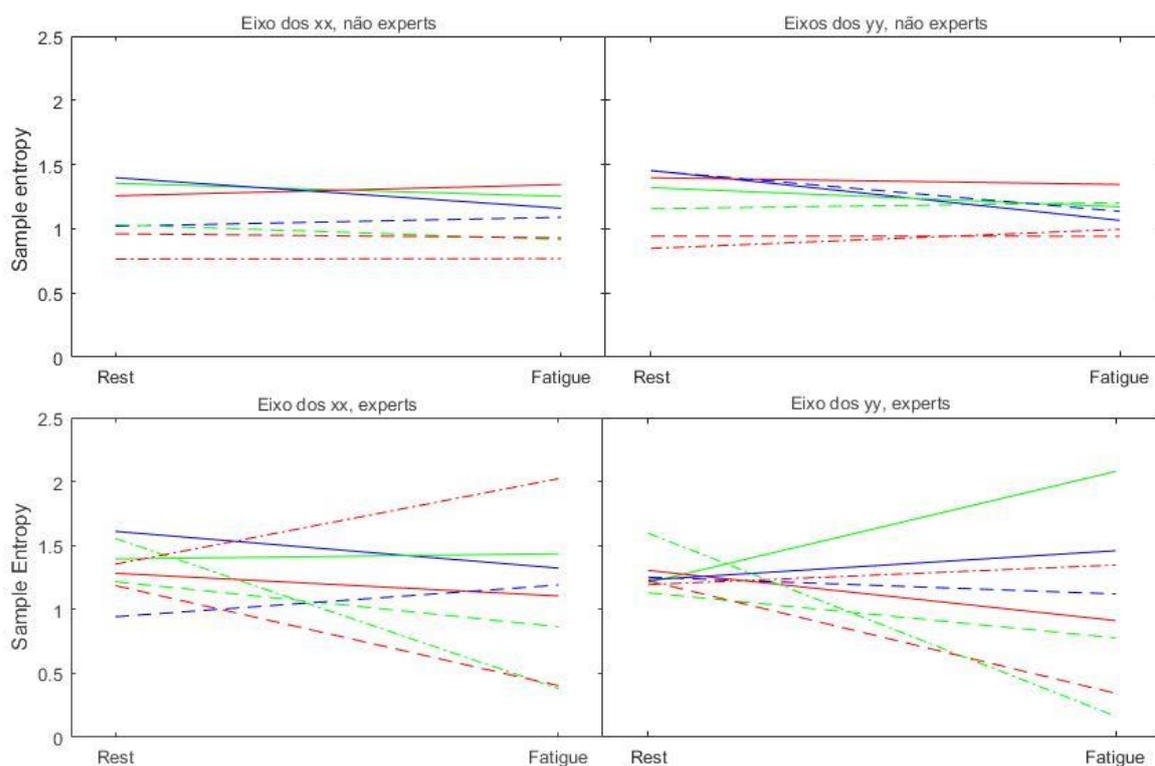


Figura 23: Valores da Sample Entropy nos eixos x e y antes e depois do percurso de indução de fadiga, em atletas *experts* e *não experts*.

Esta aparente dispersão dos valores de entropia parece ser mais significativa nos *experts* em fadiga, indicando que o comportamento visual dos atletas nestas condições é mais variável. Contrariamente, os valores de entropia dos atletas não *experts* parecem manter-se estáveis ou, particularmente para o eixo dos yy, convergir para valores ligeiramente acima de um, indicando uma certa homogeneidade nos padrões de movimentos dos olhos dos atletas.

O teste t de comparação dos valores de entropia comprova a existência de diferenças significativas entre *experts* e *não-experts* para o eixo dos xx na condição de repouso, com uma dimensão do efeito muito grande ($t = -4.180$, $p = 0,001$, $d = 6,07$; dimensão do efeito enorme), conforme podemos verificar através da análise da Tabela 17.

Tabela 17: Comparação dos valores médios e diferenças entre grupos dos valores entropia e expoente de Lyapunov referentes às coordenadas xx e yy dos movimentos dos olhos, ao nível análise não linear feita às sacadas, na condição de repouso.

	Repouso				
	<i>Experts</i>	<i>Não-experts</i>	t	p	d
SampEn_x	1,322 ± 0,039	1,108 ± 0,031	-4,180	0,001 **	6,07
SampEn_y	1,268 ± 0,035	1,223 ± 0,035	-0,913	0,363	1,29
Exp_Lyap_x	0,049 ± 0,002	0,037 ± 0,003	-3,283	0,001 **	4,71
Exp_Lyap_y	0,045 ± 0,002	0,035 ± 0,002	-3,203	0,002 **	5,00

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$).

A tabela supra apresenta ainda os valores referentes às diferenças entre grupos para o Expoente de Lyapunov, onde foram encontradas também diferenças significativas, com uma magnitude do efeito muito grande tanto para o eixo dos xx ($t = -3,283$, $p = 0,001$, $d = 4,71$; dimensão do efeito enorme) como para o eixo dos yy ($t = -3,203$, $p = 0,002$, $d = 5,00$; dimensão do efeito enorme).

A Tabela 18 mostra que estas diferenças se mantêm na condição de fadiga, com significância estatística no eixo dos xx ($t = -5,920$, $p = 0,001$, $d = 9,41$; dimensão do efeito enorme) e no eixo dos yy ($t = -5,410$, $p = 0,001$, $d = 7,00$; dimensão do efeito enorme). Pelo contrário, não foram encontradas diferenças entre os grupos para os valores de entropia quando os mesmos se encontram em estado de fadiga.

Tabela 18: Comparação dos valores médios e diferenças entre grupos, ao nível da Sample Entropy e do expoente de Lyapunov referentes às coordenadas xx e yy dos movimentos dos olhos na condição de Fadiga.

	Fadiga				
	<i>Experts</i>	<i>Não-experts</i>	t	p	d
SampEn_x	1,085 ± 0,063	1,071 ± 0,029	-0,260	0,796	0,28
SampEn_y	1,025 ± 0,070	1,106 ± 0,029	0,989	0,324	1,51
Exp_Lyap_x	0,052 ± 0,002	0,028 ± 0,003	-5,920	0,001 **	9,41
Exp_Lyap_y	0,049 ± 0,003	0,028 ± 0,003	-5,410	0,001 **	7,00

Diferenças significativas indicadas com **(p<0,05).

Relativamente à comparação intra-individual, verificamos que os atletas *experts* (Tabela 19) apresentaram menor variabilidade nos movimentos sacádicos depois do percurso de indução de fadiga, tanto no eixo dos xx (t= -3,149, p= 0,002, d= 4,41; dimensão do efeito enorme) como no eixo dos yy (t= -2,836, p= 0,006, d= 4,36; dimensão do efeito enorme), denotando um comportamento mais regular. O mesmo não se verifica totalmente para o grupo de atletas *não-experts*, conforme podemos verificar através da análise da Tabela 20. Apesar da redução da variabilidade dos movimentos sacádicos ter sido observada em ambos os eixos, houve apenas significância estatística no eixo dos yy (t= -3,411, p= 0,001, d= 5,82; dimensão do efeito enorme).

Tabela 19: Comparação dos valores entropia e expoente de Lyapunov referentes às coordenadas xx e yy dos movimentos dos olhos dos atletas *experts*, antes e depois do percurso de indução de fadiga.

	<i>Experts</i>				
	Repouso	Fadiga	t	p	d
SampEn_x	1,322 ± 0,039	1,091 ± 0,063	-3,149	0,002**	4,41
SampEn_y	1,268 ± 0,035	1,024 ± 0,071	-2,836	0,006**	4,36
Exp_Lyap_x	0,049 ± 0,002	0,052 ± 0,002	1,168	0,246	1,50
Exp_Lyap_y	0,045 ± 0,002	0,049 ± 0,003	1,620	0,109	1,57

Diferenças significativas indicadas com **(p<0,05).

Ainda no que se refere aos resultados provenientes da análise não linear, é de salientar que apenas os atletas *não-experts* mostraram diferenças nos valores do

expoente de Lyapunov. A influência da fadiga no comportamento deste indicador teve, em termos nominais, direções opostas, subindo o seu valor médio nos *experts* e diminuindo significativamente para os *não-experts*, tanto para o eixo dos xx ($t = -3,595$, $p = 0,012$, $d = 3,00$; dimensão do efeito enorme) como dos yy ($t = -2,181$, $p = 0,033$, $d = 2,33$; dimensão do efeito enorme), conforme podemos comprovar nas tabelas 19 e 20.

Tabela 20: Comparação dos valores entropia e expoente de Lyapunov referentes às coordenadas xx e yy dos movimentos dos olhos dos atletas não *experts*, antes e depois do percurso de indução de fadiga.

	<i>Não-experts</i>				
	Repouso	Fadiga	t	p	d
SampEn_x	1,119 ± 0,032	1,071 ± 0,029	-1,605	0,113	1,57
SampEn_y	1,293 ± 0,035	1,106 ± 0,029	-3,411	0,001**	5,82
Exp_Lyap_x	0,037 ± 0,003	0,028 ± 0,003	-2,595	0,012**	3,00
Exp_Lyap_y	0,035 ± 0,003	0,028 ± 0,003	-2,181	0,033**	2,33

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$).

Quanto aos valores referentes à amplitude das sacadas dos participantes, a análise da entropia revelou diferenças significativas no grupo dos *experts* apenas para a entropia aproximada ($t = -2,626$, $p = 0,034$, $d = 3,71$; dimensão do efeito enorme). De salientar também que, apesar de sem significância estatística, os valores da Sample Entropy manifestam uma tendência para a diferença ($t = 2,327$; $p = 0,053$, $d = 0,72$; dimensão do efeito grande) (Tabela 21). No entanto, enquanto que a primeira aponta para uma maior entropia na condição de fadiga, a última indica que é na condição de repouso que os valores de entropia são superiores.

Tabela 21: Comparação dos valores da análise não linear referente à análise do efeito da fadiga na amplitude das sacadas em *experts*.

	<i>Experts</i>				
	Repouso	Fadiga	t	p	d
SacAmp_ApEn	0,592 ± 0,075	0,861 ± 0,070	-2,626	0,034**	3,71
SacAmp_SampEn	2,455 ± 0,718	2,073 ± 0,200	2,327	0,053*	0,72
SacAmp_LyapExp	0,021 ± 0,005	0,025 ± 0,005	-0,486	0,642	0,80
SacAmp_HurstExp	0,527 ± 0,035	0,572 ± 0,036	-1,132	0,295	1,27

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$). Tendência para uma diferença significativa ($p < 0,10$) indicadas com *.

Não foram encontradas quaisquer diferenças estatisticamente significativas nos valores resultantes da análise não linear da amplitude das sacadas dos *não-experts*, conforme podemos verificar na Tabela 22.

Tabela 22: Comparação dos valores da análise não linear referente à análise do efeito da fadiga na amplitude das sacadas em *não-experts*.

	<i>Não-experts</i>				
	Repouso	Fadiga	t	p	d
SacAmp_ApEn	0,829 ± 0,109	0,763 ± 0,096	0,662	0,533	0,65
SacAmp_SamEn	2,089 ± 0,170	1,947 ± 0,356	0,524	0,619	0,56
SacAmp_LyapExp	0,032 ± 0,009	0,032 ± 0,006	0,052	0,960	0,00
SacAmp_HurstExp	0,637 ± 0,032	0,611 ± 0,031	0,912	0,397	0,82

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$).

A comparação entre *experts* e *não-experts*, para a amplitude das sacadas comprovou a existência de diferenças significativas ao nível do expoente de Hurst. Neste caso, foram os atletas *não-experts* que apresentam uma maior tendência de dispersão (Tabela23).

Tabela 23: Comparação entre grupos dos valores da análise não linear referente ao padrão da amplitude das sacadas na condição de repouso.

	Repouso				
	<i>Experts</i>	<i>Non-experts</i>	t	p	<i>d</i>
SacAmp_ApEn	0,592 ± 0,075	0,829 ± 0,109	1,802	0,099 *	2,53
SacAmp_SamEn	2,455 ± 0,718	2,089 ± 0,170	-1,192	0,256	0,72
SacAmp_LyapExp	0,021 ± 0,005	0,032 ± 0,009	1,064	0,316	1,51
SacAmp_HurstExp	0,527 ± 0,035	0,637 ± 0,032	2,303	0,038**	3,28

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$). Tendência para uma diferença significativa ($p < 0,10$) indicadas com *.

Esta tendência de dispersão apenas se verifica, contudo, na condição de repouso.

Tabela 24: Comparação entre grupos dos valores da análise não linear referente ao padrão da amplitude das sacadas na condição de fadiga.

	Fadiga				
	<i>Experts</i>	<i>Non-experts</i>	t	p	<i>d</i>
SacAmp_ApEn	0,861 ± 0,070	0,763 ± 0,096	-0,827	0,425	1,44
SacAmp_SamEn	2,073 ± 0,200	1,947 ± 0,356	-0,307	0,765	0,50
SacAmp_LyapExp	0,025 ± 0,005	0,032 ± 0,006	0,902	0,385	1,98
SacAmp_HurstExp	0,572 ± 0,036	0,611 ± 0,031	0,803	0,437	1,16

Diferenças significativas indicadas com **($p < 0,05$).

Os restantes parâmetros não mostraram quaisquer diferenças estatisticamente significativas. *Experts* e *não-experts* não apresentam diferenças significativas ao nível da estabilidade e variabilidade dos padrões de variação da amplitude das sacadas (Tabela 24).

CAPÍTULO V

DISCUSSÃO

O presente capítulo visa discutir os resultados obtidos, estando dividido em quatro partes. Na primeira parte são analisados os dados que decorrem da prova de indução um estado de fadiga nos participantes, no sentido de tentar perceber se, de facto, houve instalação de fadiga nos participantes que pudesse influenciar a *performance* dos mesmos na pista de testes. Em seguida, discutem-se os resultados provenientes da análise linear feita aos tempos e números de fixações que os atletas apresentaram no decurso dos testes, comparando-os entre grupos e dentro dos grupos, entre o teste antes da prova de fadiga e depois da mesma. A terceira parte desta discussão centra-se na discussão da análise não linear efetuada, onde serão analisados os valores de entropia nos padrões de movimentos dos olhos durante a corrida em terreno acidentado. Por fim, a quarta parte centrar-se-á numa discussão geral dos dados, à luz do referencial teórico que norteia o presente trabalho.

5.1. Efeito da prova nas variáveis fisiológicas dos participantes

O objetivo desta investigação centrou-se na compreensão das estratégias visuais adotadas pelos atletas de *trail* para recolher e interpretar a informação proveniente do percurso, num paradigma de *experts vs novatos*. Adicionalmente, pretendeu-se também perceber se estas estratégias se modificavam com estados de fadiga, entendida como um constrangimento, à luz do modelo de constrangimentos de Newell (Abd-Elfattah, Abdelazeim, & Elshennawy, 2015; Dicks, Button, & Davids, 2010; Klostermann & Küng, 2016; Newell, 1986; Rienhoff et al., 2016). Para provocar este efeito, foi desenhada uma prova com distância e desnível suficientes para provocar os efeitos pretendidos (descrita na secção dos métodos), que os atletas tinham de percorrer entre as avaliações.

A velocidade e distância total percorrida na prova foi diferente para os dois grupos (Tabela 8). A *performance* está intimamente ligada às capacidades físicas e fisiológicas dos atletas, assim como a sua capacidade de navegar ao longo de um percurso em ambiente *outdoor*, sendo naturalmente compreensível que haja diferenças ao nível dos ritmos de corrida. É também natural que as distâncias totais percorridas por cada um tenham ligeiras variações, uma vez que podem optar por caminhos diferentes dentro do percurso.

No que à distância total percorrida diz respeito, as diferenças patentes na Tabela 8 devem-se a ligeiros desvios que os atletas fizeram relativamente ao traçado inicial. Apesar de não terem sido encontrados estudos que avaliassem os desvios totais dos atletas de *trail* durante uma prova, pensamos que estes desvios ocorrem naturalmente durante o decurso das provas em meio natural, por via das características orográficas do terreno e das opções que o atleta toma em função das mesmas. Adicionalmente, 2 dos atletas não *experts* pararam a prova ao final da terceira volta (sensivelmente aos 19,65 km) por se encontrarem exaustos. Esta ocorrência não colocou em causa a validade dos dados obtidos, dado que o objetivo principal era a indução de um estado de fadiga.

Todos os atletas foram instruídos para correr ao nível do seu ritmo competitivo. O ritmo médio dos participantes foi, portanto, elevado, considerando o intervalo de temperatura com que correram. Tomando como termo de comparação uma prova de características similares, que decorreu recentemente na mesma serra – o 9.º *Trail Terras de Sicó 2018*, com 25 km de distância e 1080m de desnível positivo acumulado – verificamos que o ritmo médio dos participantes *experts* estaria ao nível do Top 10 melhores classificados desta competição, ao passo que o dos não *experts* estaria dentro do Top 250 (Run Portugal, 2018).

Esta discrepância de valores era expectável pela definição inicial dos critérios de inclusão nos grupos. No grupo dos *experts*, por exemplo, contámos com a colaboração de um atleta da seleção nacional de *trail*, tendo os restantes já completado, nesse ano, diversas provas de *trail* e *ultra-trail* (provas de ~100Km). O grupo de não *experts* contou com atletas recreativos ou que se tinham iniciado na modalidade recentemente.

5.1.1. Massa Corporal

As pesquisas sobre o impacto das provas de corrida na composição corporal têm sido feitas para várias distâncias, sendo mais frequentes nas provas de ultra maratona (Casa et al., 2010; Cejka, Knechtle, Rüst, Rosemann, & Lepers, 2015; Hoffman et al., 2018; Hoffman & Stuempfle, 2014; Knechtle et al., 2011; Regulska-Illow et al., 2014; Suarez, Campo, & Gonzalez-Rave, 2011; Tam et al., 2011). A literatura tem reportado um efeito significativo das provas de endurance nos parâmetros da composição corporal, facto que é, mais uma vez, comprovado no nosso estudo, tanto nos atletas *experts* como não *experts* (Tabela 4 e Tabela 5).

Foram reportadas variações de 2,4 a 2,8% na massa corporal em atletas que completaram uma prova de 100km (Chlíbková et al., 2016). Ainda no que se refere a atletas de ultraendurance, Hoffman e Stuempfle (2014) reportaram perdas de 2% da massa corporal total nos primeiros 48 km de uma ultramaratona de 161km. Após esta perda, os participantes dessa prova mantiveram aproximadamente o peso até ao final. Iguais percentagens de perda foram também encontradas por Tam, Nolte e Noakes (2011), em corredores de provas de 21,1 km. No mesmo estudo, contudo, os autores reportaram perdas de 3,7% para uma prova de 56 km de distância. No nosso caso, a variação dos atletas *experts* foi de 2,88%, e de 1,98% para os atletas não *experts*. Importa considerar que não foi feita qualquer restrição alimentar ou de hidratação, tendo os participantes consumido água e alimentos *ad libitum*.

5.1.2. Massa Gorda

Quanto à massa gorda (MG), é de salientar que os valores que encontramos nos atletas *experts* para a %MG são significativamente mais baixos que os valores reportados na literatura para os corredores de ultraendurance, que reportam valores entre 11 a 17% (Moon & Kendall, 2017; Wardrop et al., 2017) de massa gorda, ou até relativamente a atletas participantes em provas de distâncias similares, com valores a rondar os 11% (Moon & Kendall, 2017; Tam et al., 2011).

Pela análise da Tabela 4 e da Tabela 5, tanto os atletas *experts* como os não *experts* mostraram um efeito significativo do exercício na %MG, com variações, respetivamente, de 1,23%, 1,37%. Apesar de não termos encontrado valores na literatura para provas similares, os valores reportados na literatura para perdas em provas equivalentes à maratona variaram entre 0,91% e 1,9 %. (Chlíbková et al., 2018; Regulska-Ilow et al., 2014) Podemos inferir que os valores encontrados estão em linha com os de Chlíbková et al. (2018) e Regulska-Ilow et al. (2014).

5.1.3. Água Corporal Total

No que diz respeito à variação da percentagem de água corporal total (TBW), verificou-se uma variação significativamente positiva no grupo dos *experts*, apesar da temperatura que se fez sentir nos dias de prova. Em termos de valores absolutos, a TBW diminuiu 0,52kg (~1,26%) para os atletas *experts*, tendo aumentado 0,11kg (~0,24%) para os *não-experts* (cf. Tabela 4 e Tabela 5, respetivamente). Estes valores encontram-se dentro dos valores reportados na literatura para provas de endurance (Chlíbková et al., 2016; Hue et al., 2014; Lopez et al., 2016; Mrakic-Spota et al., 2015; Suarez et al., 2011; Tam et al., 2011).

Um dado relevante é a relação entre a variação da massa corporal e a TBW. Com efeito, a variação da massa corporal foi superior à da TBW, o que indica que a perda de água não explica, por si só, toda a massa corporal perdida pelos participantes. Esta relação foi também encontrada diversos estudos (Baillot, Le Bris, & Hue, 2013; Casa et al., 2010; Chlíbková et al., 2018, 2016; Lopez et al., 2016; Tam et al., 2011), e questiona a pertinência da estratégia de manutenção dos estados de hidratação adequada resumindo-a ao controlo da perda de massa corporal em menos de 2% (Hoffman et al., 2018).

5.1.4. Concentração de lactato

A concentração de lactato sanguíneo variou positiva e significativamente com a prova (Tabela 4 e Tabela 5). Estes resultados estão em linha com a literatura (Balducci et al., 2016; Easthope et al., 2014; Ferreira et al., 2016), embora se tenha encontrado valores ligeiramente superiores.

Ao comparar os grupos, não foram encontradas diferenças significativas entre grupos em nenhuma das condições (Tabelas 6 e 7), o que indica que, ao nível deste parâmetro, a prova teve um efeito similar em ambos os grupos. De acrescentar, contudo, que o grupo dos não *experts* iniciou a prova com valores médios de lactato inferiores aos *experts*, tendo terminado com valores superiores. O resultado foi uma variação nominal positiva de 8,70 mmol/L, valor superior aos 7,14 mmol/L dos *experts*.

Uma das limitações desta análise foi o facto de não termos controlado a atividade dos participantes antes do dia da prova. O regime de treino deste tipo de atletas envolve sessões diárias na maior parte dos casos, o que poderá ter levado a valores médios iniciais de lactato superiores aos reportados por Balducci et al. (2016), por exemplo, que referiu valores na ordem dos 2,0 mmol/L. Não obstante, a prova que realizaram produziu uma acumulação significativa de lactato em todos os atletas, à exceção de um participante *não-expert* (Figura 13).

Neste caso, e à semelhança de outros dois casos de atletas *experts* que mostraram uma variação positiva na concentração de lactato, mas inferior a 2 mmol/L, procedeu-se à repetição da medida logo após comparação dos valores. A razão para se ter procedido desta forma prendeu-se com a suspeita de eventual contaminação ou defeito nas tiras do analisador de lactato. Os valores obtidos após a repetição do procedimento praticamente não se alteraram pelo que nestes casos foi utilizada a média dos dois valores obtidos.

5.1.5. Teste de atenção distribuída

De forma empírica, uma das sensações que os atletas de *trail* reportam ter após correrem por várias horas prende-se com o facto de passado algum tempo, “não verem bem o percurso” e isto os levar ou a reduzir a velocidade ou a tropeçar mais nos obstáculos. Estudos como o de Malliaropoulos et al. (2015), que se debruçou sobre a prevalência de lesões em corridas de *trail*, de Hoffman & Fogard (2011), que procurou caracterizar os fatores limitadores da *performance* em ultramaratonas, ou o de Høeg et al. (2015), que estudou a prevalência de lesões da visão em ultra *trail*, não procuraram estabelecer qualquer relação entre esta eventual diminuição da acuidade visual ou “*performance* visual” e a prevalência de lesões.

Esta falha na literatura levou-nos a interpretar os relatos empíricos dos atletas como a eventual instalação de um estado de fadiga mental, que poderia levar a diminuição da *performance* cognitiva, à semelhança da influência que a fadiga mental tem na *performance* de endurance (Marcora & Staiano, 2010; Marcora, Staiano, & Manning, 2009; Van Cutsem et al., 2017). Consequentemente, a introdução do teste de atenção distribuída visava recolher informação sobre as eventuais alterações ao nível da *performance* cognitiva, sendo que esperávamos que houvesse manifestação de fadiga.

A opção metodológica pelo teste de atenção visual distribuída da bateria de testes BAPCON, apesar de não haver pesquisas que o tenham utilizado neste âmbito, prendeu-se com a rapidez de aplicação da mesma. Considerando que os atletas teriam ainda de percorrer a pista de testes para a recolha dos dados dos ETG, tomou-se a opção metodológica de reduzir ao máximo o tempo entre o final da prova de indução de fadiga e o início do teste na pista. A pesquisa efetuada apontava para testes de duração muito superior e incompatíveis com a limitação temporal característica deste estudo (Marcora et al., 2009; Pageaux, 2016; Pageaux & Lepers, 2016; M. R. Smith et al., 2015; Van Cutsem et al., 2017) e este teste adequava-se ao critério.

Verificou-se não haver diferenças entre, ou dentro, dos grupos de praticantes para o teste de atenção distribuída (Tabela 9). Há vários fatores que poderão explicar o sucedido. O teste obrigava a que os participantes ordenassem de forma crescente os números de 1 a 25, sendo que estes se encontravam dispostos desordenadamente num quadro projetado no monitor. Contudo, a organização era sempre a mesma, o que pode

colocar em questão a validade do teste, uma vez que os resultados podem estar contaminados pelo efeito da aprendizagem da tarefa. Apesar de os testes pré e pós prova terem sido feitos com uma diferença de cerca de 2,5 a 3 horas, este efeito não deve ser desvalorizado.

Por outro lado, a explicação pode também ser de índole fisiológica. Apesar de não se ter procedido à medição, é conhecido o aumento das concentrações de cortisol e de catecolaminas provocadas pelos exercícios de endurance (Antunes et al., 2017; Deneen & Jones, 2017; Hambleton, Deckert, & Gallagher, 2015; Millet, Martin, & Temesi, 2018; Žáková et al., 2017). Numa meta-análise sobre relação entre os estados de atenção aumentada por via do exercício e a *performance* cognitiva, Lambourne e Tomporowski (2010) sugerem que a fadiga induzida pela corrida diminui ligeiramente a *performance* cognitiva durante a prova, mas aumenta-a ligeiramente após. Mais recentemente, outra meta-análise sugere que o exercício moderado produz melhorias ao nível da *performance* cognitiva, nomeadamente ao nível da velocidade da resposta (McMorris & Hale, 2015). Ao relacionar os níveis de cortisol com o tempo de reação numa tarefa de busca visual, Bullock e Giesbrecht (Bullock & Giesbrecht, 2014) encontraram a mesma relação, o que poderá trazer alguma luz para a interpretação dos nossos resultados.

A análise individual dos tempos médios de execução da tarefa indica que, à exceção de 4 participantes, houve melhorias após a prova. Contudo, a falta de evidência estatística e a dimensão da amostra obrigam a cautelas no estabelecimento de uma relação entre a prova que os atletas realizaram e a sua *performance* neste teste, e muito menos na extrapolação dos efeitos agudos do exercício de endurance na *performance* cognitiva, sendo necessário aprofundar a investigação para descobrir mais sobre este tema.

5.1.6. Síntese do impacto da prova de *trail* nos participantes

As provas de *Trail* Longo são caracterizadas por apresentarem distâncias muito variáveis, podendo ir dos 21 aos 42 km. Encontram-se numa zona de transição, onde os atletas menos experientes se sentem suficientemente desafiados para participar e, por

outro, são boas provas para os atletas mais experientes experimentarem ritmos de corrida mais elevados, enquadrados dentro do seu planeamento de treinos.

Este facto traz uma dificuldade quando se pretende comparar atletas principiantes com *experts*, uma vez que a experiência e capacidade que os últimos têm para lidar com estas distâncias lhes permite adaptar melhor a sua estratégia de corrida à distância, ao clima que se faz sentir e às características do terreno. Adicionalmente, a experiência dos atletas *experts* em distâncias mais longas contribui para esta adaptação, afetando a perceção que estes têm da dificuldade da prova e encarando a distância escolhida para a prova como um treino longo. Contrariamente, os atletas não *experts* não tinham experiência em provas mais longas, o que poderá levar a que tenham percecionado a prova como mais exigente.

Apesar destas eventuais diferenças de interpretação, ambos os grupos reportaram valores elevados na perceção subjetiva de esforço. Foram também verificados marcadores fisiológicos que indicam que houve fadiga física (lactato), e os indicadores da composição corporal mostraram que houve efetiva diminuição da massa corporal e da percentagem de massa gorda.

Relativamente à percentagem de água corporal total, verificámos variações significativamente positivas para os *experts*, indicando que houve, durante a prova, hidratação acima dos valores de repouso. Os atletas não-*experts* não variaram significativamente neste parâmetro, indicando que mantiveram os seus níveis de hidratação. Este dado é importante, uma vez que nos permite excluir os efeitos da desidratação na visão.

O comportamento dos participantes no teste de atenção distribuída não foi inicialmente ao encontro do esperado. Contávamos que o cansaço produzido pelo esforço intenso provocado pela prova indicasse fadiga cognitiva, à semelhança das consequências da fadiga mental na *performance*, mas isso não se verificou. Não podemos afirmar, portanto, que houve a instalação de um estado de fadiga mental apenas com base na indicação subjetiva dos participantes.

Em suma, os resultados indicam que a prova permitiu induzir estados de fadiga física em ambos os grupos de participantes, sem instalação de situações de desidratação que afetassem a perceção visual.

Com base no exposto, entendemos que se pode afirmar válida a introdução e consideração do constrangimento “fadiga”, com vista à a análise da sua influência nas estratégias e nos padrões visuais dos corredores de *trail experts* e novatos, tal como preconizado nos objetivos deste trabalho.

5.2. Estratégias de busca visual

Os participantes correram em cima de uma pista com 21 metros de comprimento, retornando pela esquerda da mesma até ao início, perfazendo um total de 10 voltas. No computo total, correram cerca de 420 metros, 210 dos quais em pista. Destes, cerca de 150 metros foram corridos em terreno acidentado, com pedras de diferentes formas e tamanhos, que obrigavam o participante a saltar, pisar ou desviar-se desses obstáculos. Durante a prova, usaram os ETG, que permitiu perceber posteriormente, em termos qualitativos, para onde dirigiram o seu olhar.

O dispositivo foi ajustado e calibrado individualmente e nenhum participante reportou qualquer desconforto quer no uso do mesmo, quer no uso da mochila utilizada para transportar o smartphone de armazenamento dos dados.

No que diz respeito à análise linear dos resultados obtidos³, era esperado que os atletas *experts* apresentassem um maior número, e mais curtas fixações, que os atletas novatos, em ambas as condições. Adicionalmente, esperava-se que ao comparar o número e a duração das fixações dos atletas nas duas condições, o estado de fadiga provocasse uma diminuição significativa de ambas as variáveis, e que a magnitude destas alterações fosse maior nos atletas novatos.

No que diz respeito às categorias de AOI, era esperado que os atletas *experts* se fixassem mais no terreno e menos nas pedras e obstáculos, optando por se focar nas características do terreno que lhes fossem mais vantajosas, no sentido da manutenção da economia da corrida, e que esta característica se mantivesse na condição de fadiga.

³ Parte da análise destes dados foi apresentada nos dias 23 e 24 de Agosto, no Scandinavian Workshop of applied Eye Tracking, em Copenhaga, e publicados: Gomes, R., Coelho-e-Silva, M., Mendes, R., & Dias, G. (2018) Visual Search Strategies in Expert Vs Non-expert trail runners, *Journal of Eye Movement Research*, Volume 11, Issue 5.

No que diz respeito às diferenças entre grupos, em termos gerais (Tabela 10), os *experts* completaram a tarefa com um menor número de fixações nos AOI que os atletas não *experts*, tendo sido encontradas diferenças significativas durante a condição de repouso. Não foi encontrada na literatura qualquer referência a estudos similares nesta modalidade, pelo que a análise feita toma como referência os dados de outras modalidades. Assim, os resultados obtidos vão ao encontro das descobertas feitas por Mann et al. (2007), Gegenfurtner, Lehtinen e Säljö (2011), Murray e Hunfalvay (2016) e Decroix et al. (2017), que repararam que os praticantes *experts* apresentam menos fixações, mais longas, e com menor variabilidade. Neste estudo, apesar dos tempos totais de fixação serem similares entre ambos os grupos, os atletas *experts* apresentam um menor número de fixações, comportamento similar ao comportamento apresentado por esquiadores de slalom experientes (Decroix et al., 2017). Na condição de fadiga, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas, tendo sido identificado, contudo, uma tendência para tal.

Estes dados não são consensuais na literatura sobre o tema, dado que outros estudos, embora centrados em outras modalidades e atividades, têm apresentado resultados opostos (Li et al., 2014; Pizzera, Möller, & Plessner, 2018; Sheridan & Reingold, 2014). Por exemplo, ao analisar as estratégias de busca visual de juízes de ginástica, Pizzera, Möller e Plessner (2018) notaram que os juízes de alto nível tinham mais fixações nos AOI relevantes, no caso o corpo do ginasta, que os de nível mais baixo. Já Machado, Cardoso e Teoldo (2017), não encontraram diferenças no número e duração das fixações entre futebolistas de diferentes escalões etários. Este facto leva-nos a concordar com Manzanares et al. (2017), que defendem que as estratégias visuais talvez sejam específicas de cada tarefa, sendo, portanto, possível que ocorram variações em função da modalidade em estudo.

No que à corrida em geral, e ao *trail* em particular, diz respeito, não foram encontradas quaisquer indicações sobre a matéria, o que impossibilita qualquer tipo de comparação com outros estudos. Reforça, no entanto, a pertinência do aprofundamento do conhecimento nesta área.

Ao analisarmos os dados de forma linear, torna-se importante tomar em consideração o fator velocidade de deslocação ao longo do percurso como fator que pode influenciar tanto o número como o tempo de fixação no percurso. Não foram

encontradas quaisquer diferenças significativas entre *experts* e não *experts* relativamente à velocidade a que os atletas corriam no terreno, para a condição de repouso. Para a condição de fadiga, foram encontradas diferenças, sendo os *experts* mais rápidos do que os *não-experts*. Curiosamente, esta diferença não afetou nem o tempo nem o número de fixações. Uma análise mais detalhada revela que os atletas não *experts* aumentaram o seu número de fixações à medida que a velocidade de deslocamento diminuía, o que é expectável, uma vez que um ritmo de corrida mais lento permite mais tempo para fazer a leitura do terreno, dando eventualmente origem tanto ao maior número de fixações como a fixações mais longas.

Relativamente aos atletas *experts*, isto não se verificou. Os *experts* mantiveram o ritmo e aumentaram o número de fixações, embora sem relevância estatística, e sem alterações ao nível dos tempos de fixações. O facto de a amostra ser de reduzida dimensão, pode explicar esta irrelevância estatística. Por outro lado, a explicação pode residir nas especificações técnicas do software de análise dos movimentos dos olhos. Para este trabalho, e seguindo as recomendações da literatura da especialidade (Holmqvist et al., 2015), foram assumidas as especificações do software, onde as fixações são definidas como tal quando os movimentos dos olhos são de uma duração superior a 100ms (equivalente a sensivelmente três *frames* consecutivos). Se o atleta se fixar por menos tempo no alvo, o movimento é contabilizado como uma sacada.

É possível que os atletas tenham adotado este comportamento na condição de repouso, indicando uma maior variabilidade no olhar, que se traduz numa prevalência superior de comportamentos de busca de informação relevante no ambiente.

No que diz respeito à análise categorial de fixações, foram definidas cinco áreas onde era possível o atleta direcionar o seu olhar (cf. Secção de Métodos). Os resultados apresentados na Tabela 10 não apresentam qualquer referência ao AOI “START”. Isto deve-se ao design experimental. Os atletas corriam numa pista linear e a análise iniciava aquando da entrada destes na pista, o que obrigaria a que, para serem contabilizadas fixações no AOI “START”, os atletas tivessem que olhar para trás, o que não aconteceu. As fixações no AOI “OUT” apresentadas são residuais. Estas decorrem, provavelmente, de elementos distratores que levaram os atletas a olharem pontualmente para fora da pista.

Os resultados presentes na Tabela 10 demonstram que os *experts* olham em termos globais menos para o AOI “Ground” do que os não *experts*, em ambas as condições de teste. Na condição de fadiga estas diferenças parecem intensificar-se uma vez que os *experts* aparentam dirigir o seu olhar mais para o final da pista. Há, portanto, uma tendência para “olhar para a frente” quando navegamos em terreno instável, utilizando as “*travel fixations*” à frente dos obstáculos, deixando para a visão periférica a análise dos mesmos, tal como reportado por Patla e Vickers (1997), Smid e Den Hodder (2013), Matthis e Fajen (2014) e Matthis, Yates e Hayhoe (2018). Neste caso, o sistema visual decide sobre a relevância da mudança do olhar para o obstáculo, para uma análise mais detalhada.

Ainda sobre este tema, e trazendo para a discussão o papel do “Optic Flow” na locomoção (Salinas, Wilken, & Dingwell, 2017; t’ Hart & Einhäuser, 2012; Turano et al., 2005; Wilkie et al., 2008; Zadra & Proffitt, 2016), o facto de os *experts* dirigirem mais o seu olhar para o final da pista pode indicar que há uma adaptação favorável, onde a informação sobre as características do ambiente é percebida periféricamente, com base na velocidade de deslocamento dos obstáculos no campo visual, mesmo em terreno acidentado e onde o risco é conseqüentemente maior.

No que diz respeito às diferenças dentro dos grupos importa referir que não houve efeito da fadiga nas estratégias visuais adotadas por ambos os grupos (cf. Com Tabela 12). Verificou-se, contudo, uma tendência para que os *experts* exibam menos fixações no chão (AOI “Ground”), distribuindo-as pelas outras áreas de interesse. Este comportamento pode ser indicador de um aumento ligeiro da variabilidade dos movimentos dos olhos, analisável à luz das técnicas não lineares de análise dos movimentos, assunto que será abordado no ponto seguinte da presente discussão.

A amplitude das sacadas foi também analisada. O intuito principal desta análise tinha como objetivo perceber o efeito da fadiga neste parâmetro. Foram encontradas diferenças significativas para os dois grupos de atletas (cf. Com Tabela 14). A literatura consultada não é bem clara na relação entre a fadiga e a amplitude das sacadas. Shiferaw et al. (2018), por exemplo, encontrou uma relação positiva entre a fadiga e a amplitude das sacadas em condutores que tinham sido privados do sono. Um aumento da amplitude das sacadas é, segundo o autor, indicador de uma maior variabilidade dos movimentos dos olhos. Di Stasi e colaboradores (2014), ao analisarem a velocidade das

sacadas, chegaram a conclusões opostas. No seu estudo sobre o impacto da fadiga na *performance* de cirurgiões, as sacadas mais lentas eram típicas de cirurgiões em fadiga. Diaz-Piedra et al. (2016), chegou às mesmas conclusões quando analisaram os movimentos sacádicos de pilotos de aviação militar. Contudo, os autores referem no seu estudo a importância de se aprofundar este tema, uma vez que a literatura é contraditória.

No nosso entender, o fator quase idiossincrático inerente às estratégias de busca visual, aliado à especificidade que cada modalidade desportiva tem, pode, tal como afirma Manzanares et al. (2017) para as fixações, influenciar o efeito destes constrangimentos também nas sacadas.

5.3. Variabilidade dos padrões de busca visual

A entropia é uma métrica que deriva da teoria da informação e fornece um enquadramento conceptual que permite descrever matematicamente a complexidade de sistemas com elevado grau de incerteza. A utilidade desta métrica para a análise da variabilidade dos padrões de fixação tem sido comprovada em diversas áreas de estudo, como a avaliação dos padrões de olhar no painel de instrumentos em pilotos de avião (Allsop & Gray, 2014), nos padrões do olhar durante a condução automóvel (Schieber & Gilland, 2008; Shiferaw et al., 2018), na avaliação de uma cirurgia (Di Stasi et al., 2016) ou em tarefas de visionamento de imagens (Krejtz et al., 2015).

No contexto das Ciências do Desporto a pesquisa feita não devolveu qualquer estudo onde fosse aplicada esta abordagem aos dados. Ainda assim, a complexidade da busca por informação relevante no ambiente, expressa através dos padrões de fixação, representa uma medida de avaliação da carga cognitiva de uma determinada tarefa locomotora, sendo a medida da entropia uma ferramenta importante para quantificar as alterações por efeito da modificação das condições de prática, como no caso do estudo do efeito da ansiedade nos padrões de fixações de pilotos de aviões (Allsop & Gray, 2014) , ou as diferenças existentes em grupos diferentes, como no caso do estudo da entropia das fixações na condução automóvel de Gilland (2008), onde o autor comparou condutores de duas faixas etárias.

A análise feita aos dados provenientes deste estudo assentou em dois paradigmas: os *experts* Vs novatos, e a influência do constrangimento fadiga. A construção das nossas hipóteses de estudo centrou-se fundamentalmente nos resultados dos trabalhos apresentados no parágrafo anterior. Gilland (2008), posteriormente comprovado por Schieber & Gilland (2008), não encontraram diferenças nos valores de entropia nas fixações, entre condutores de duas faixas etárias (condutores novos e idosos). Contudo, ao colocarem os mesmos condutores em tarefas com maior carga cognitiva (i.e. numa estrada com maior tráfego), verificaram um decréscimo significativo da entropia em ambos os grupos, sendo que a magnitude deste decréscimo foi muito maior no grupo de condutores mais velhos.

Por outro lado, no estudo sobre a ansiedade em pilotos de aviões, Allsop e Gray (2014) verificaram um comportamento mais randómico dos seus padrões de fixações quando os pilotos voavam sob condições de ansiedade, algo que também se verificou no estudo de Di Stasi et al. (2016), onde verificaram que os cirurgiões apresentavam maior aleatoriedade dos comportamentos visuais quando a dificuldade da cirurgia aumentava.

Era esperado que este estudo produzisse resultados em linha com os dos estudos de condução automóvel (Gilland, 2008; Schieber & Gilland, 2008; Shiferaw et al., 2018), onde os padrões de fixação dos atletas fossem menos variáveis na presença da fadiga, e que os atletas *experts* apresentassem maior variabilidade que os não *experts* em ambas as condições. A análise estatística da variabilidade dos padrões de fixações dos atletas incidiu sobre dois tipos de entropias: A entropia visual e a entropia de transições de estado. Se a primeira analisou a distribuição probabilística simples da variação das fixações, a última centrou-se na análise da probabilidade condicionada de, estando num determinado ponto, passar para outro.

No caso da entropia visual, a informação proveniente desta métrica permitiu avaliar o grau de variabilidade de um determinado padrão, considerando os casos onde se repetiram fixações nos mesmos AOI. Ou seja, os participantes poderão ter tido fixações consecutivas na mesma categoria de AOI. Neste caso, estas fixações foram incluídas na determinação do padrão de fixações, ou de busca visual.

Pelo contrário, a entropia de transições de estados não contabiliza as fixações consecutivas no mesmo AOI, uma vez que o participante mantém o olhar na mesma categoria de AOI, i.e, não transita de categoria de AOI. Importa então perceber o grau

probabilístico de, tendo uma fixação numa determinada categoria de AOI, passar para outra categoria. Esta métrica permite olhar para os padrões de busca visual de outra forma, assente na compreensão da sequência de categorias de AOI que cada participante apresenta. A análise dos dados entre os grupos apenas mostrou evidência estatística que comprovasse diferenças entre *experts* e novatos para a entropia visual na condição de fadiga (cf. Tabela 15). Não obstante, os valores médios das entropias foram sempre maiores para o grupo dos *experts*. Era expectável que houvesse evidência estatística mais robusta para sustentar as hipóteses formuladas. Contudo, os resultados são similares aos estudos que utilizaram este tipo de abordagem (Schieber & Gilland, 2008; Shiferaw et al., 2018).

Do mesmo modo, a análise que incide sobre o efeito da fadiga nos valores de entropia não demonstrou evidências estatísticas. Era expectável que a entropia diminuísse com a instalação de fadiga, indicador de padrões de busca visual mais estáveis e previsíveis, mas também indicadores de menor riqueza na busca por informação relevante no ambiente. A análise dos valores médios de entropia visual mostra que, para os não-*experts*, não houve praticamente qualquer variação, ao passo que os *experts* sofreram um aumento.

Como vimos anteriormente, a literatura não é consensual no que se refere ao efeito da fadiga na entropia visual e os resultados apresentados acabam por não tender para qualquer lado. O número de repetições solicitado poderá não ter produzido séries temporais suficientemente grandes para que os efeitos se manifestassem.

Há, ainda, uma limitação metodológica que deve ser tida em consideração para a análise destes resultados. O facto de os participantes percorrerem 10 vezes o mesmo percurso, e este manter-se igual tanto na condição de repouso como na de fadiga, pode enviesar os resultados, por efeito da aprendizagem. Jordan e Slater (2009, cit por: Shiferaw et al., 2018), por exemplo, reportaram uma redução dos valores de entropia por efeito da familiarização visual com o percurso. Esta familiarização, neste caso, poderia ter ocorrido tanto durante as 10 voltas, levando a uma redução progressiva dos valores de entropia em cada volta, como entre as duas vezes que realizaram o teste, mascarando de certa forma o efeito da fadiga por via da aprendizagem e familiarização com o percurso. Este efeito de aprendizagem parece não se evidenciar neste estudo, uma

vez que os valores de entropia intra-individuais não mostram alterações significativas quer entre cada volta, quer depois da indução do estado de fadiga física.

Duas explicações concorrem, portanto, para justificar a inexistência do efeito da fadiga na entropia visual. Numa primeira abordagem, e pegando no exemplo do trabalho com cirurgiões de Di Stasi et al. (2016), a dificuldade da tarefa poderá ter aumentado por via da indução do estado de fadiga provocado pela prova, levando a que as fixações fossem mais randômicas. Neste sentido, a fadiga atuaria de forma divergente: por um lado, aumentando a variabilidade das fixações por via do aumento da percepção cognitiva da dificuldade da tarefa e, por outro, diminuindo a entropia visual, uma vez que fisiologicamente, diminui a velocidade e amplitude das sacadas (Stan et al., 2014) e produz menos fixações e de maior duração (Decroix et al., 2017; Gegenfurtner et al., 2011; Mann et al., 2007; Murray & Hunfalvy, 2016). Em última análise, estes efeitos anular-se-iam.

Contudo, uma outra explicação pode emergir, centrada nos trabalhos sobre o modelo de aprendizagem diferencial de Schöllhorn (Schöllhorn et al., 2012, 2009). Entendendo a aprendizagem ou o treino de movimentos como um processo individual e não linear, variando em função das características do praticante, a apresentação de uma maior variabilidade de padrões de fixações oculares pode ser entendida como intenções, por parte do praticante, de busca de informação sobre outras formas de interpretação do meio envolvente, conferindo-lhe uma maior capacidade de identificação da resposta que melhor se adequa àquela realidade.

A entropia do olhar, neste contexto, pode ser entendida como positiva, uma vez que é uma medida do grau de capacidade do praticante em “explorar” o ambiente que o rodeia no sentido de encontrar a melhor resposta. A variabilidade, neste contexto é entendida como um indicador positivo de *performance* (Couceiro et al., 2014; Davids et al., 2003; van Emmerik et al., 2016). Neste seguimento, o aumento dos valores de entropia nas fixações dos *experts*, embora sem significância estatística, pode indicar que este grupo conseguiu manifestar comportamentos eficientes, mesmo em situação de fadiga, exibindo desta forma comportamentos visuais exploratórios, em busca das melhores soluções. Este aumento, estatisticamente insignificante (cf. Com Tabela 15 e Tabela 16), deve ser analisado com reserva. Conforme se pode verificar através da análise da Figura 21, o aumento da entropia deveu-se a uma variação positiva muito

significativa dos valores individuais para três dos participantes. Neste sentido, a confirmação da validade destas explicações ainda não é totalmente clara.

Em suma, os movimentos oculares expressam a concretização da intenção de busca por informação relevante no ambiente. A interpretação das fixações, em termos qualitativos, quantitativos e na expressão de padrões típicos, dão informação sobre as características que assumem como mais relevantes para o atleta e são, portanto, indicadores de um melhor afinamento perceptual com as *affordances* (Fajen et al., 2008; Oliveira, 2016; Seifert & Davids, 2017).

5.3.1. Entropia dos movimentos sacádicos

Uma outra vertente de análise é sustentada na interpretação da variabilidade dos movimentos sacádicos dos olhos (Harezlak & Kasproski, 2018). O olho humano nunca está completamente imobilizado, sendo que as sacadas representam movimentos de busca, entre fixações.

A análise dos movimentos sacádicos através da aplicação de técnicas não-lineares, de acordo com a pesquisa bibliográfica feita, ainda não tinha sido feita em contextos desportivos. Em outros contextos, contudo, a influência da fadiga nos movimentos sacádicos foi verificada em cenários de condução automóvel ou em pilotos militares (Diaz-Piedra et al., 2016) e também em contextos médicos (Di Stasi et al., 2014), por exemplo. A literatura pesquisada aponta para uma diminuição da velocidade e da duração das sacadas como resposta a este constrangimento (Connell et al., 2017). Contrariamente, a análise não linear destes movimentos, feita através do Expoente de Lyapunov (EL), em participantes sujeitos a tarefas de sobrecarga cognitiva não mostra diferenças significativas, apontando para valores indicadores de que o sistema responsável pelo controlo das sacadas se comporta de forma instável (Aștefănoaei, Creangă, Pretegiani, Optican, & Rufa, 2014).

Os movimentos dos olhos foram registados pelo ETG, tendo estes registado o posicionamento da pupila em função de um referencial bidimensional, que correspondia ao campo de visão, traduzindo-se em coordenadas xx e yy . Destas, foram extraídos os valores de amplitude das sacadas, que se constituem como uma métrica importante para

a interpretação dos comportamentos de busca visual. Os valores das coordenadas xx e yy representam apenas a posição do olhar num referencial virtual, que corresponde ao ponto de cruzamento do olhar com a imagem do cenário em frente ao participante. Não estando presente a representação da profundidade, não possível fazer convergir o olhar com o ponto exato, no ambiente, para onde este está a ser dirigido. Consequentemente, a amplitude das sacadas (em graus), são métricas mais próprias do movimento humano, uma vez que refletem a variação da posição do olho, dentro do globo ocular. Ainda assim, toda a análise feita não considera os movimentos da cabeça, que podem atuar em compensação a uma variação excessiva, ou reduzida, dos movimentos oculares.

Esta parte do trabalho, portanto, discute os valores da entropia aproximada, da *Sample Entropy*, do Expoente de Lyapunov e do expoente de Hurst de ambas as métricas, com o intuito de clarificar o papel dos movimentos oculares na corrida em terreno acidentado.

5.3.1.1. *Expoente de Lyapunov*

A análise dos valores referentes ao Expoente de Lyapunov das sacadas, expressos quer através das coordenadas quer pela amplitude das sacadas indica que todos os sujeitos, em todas as condições, convergem para valores ligeiramente acima de 0, tal como no estudo de Aștefănoaei et al. (2014). Estes valores indicam que o sistema responsável pelos movimentos sacádicos é instável e evolui para uma trajetória de bifurcação. Esta evolução leva a estados de quase-equilíbrio, onde duas trajetórias de movimentos podem desenvolver-se com probabilidades semelhantes. Por sua vez, cada uma destas trajetórias poderá levar ao surgimento de novos estados de quase-equilíbrio, e assim sucessivamente.

Experts e novatos mostraram diferenças ao nível da estabilidade dos movimentos dos olhos, sendo que os não-*experts* apresentam valores inferiores do Expoente de Lyapunov do que os *experts* tanto no eixo dos xx como dos yy , na condição de Repouso e Fadiga, (Tabela 17 e Tabela 18). No que diz respeito ao Expoente de Lyapunov referente à amplitude das sacadas, não foram encontradas diferenças. A opção por padrões de busca visual mais estáveis e previsíveis pelos não-*experts* mostra diferenças entre grupos na dificuldade da tarefa. Harezlak & Kasproski (2018),

demonstraram a relação entre as suas estratégias são mais conservadoras, e este conservadorismo mantém-se em ambas as condições de teste.

Por oposição, uma maior imprevisibilidade dos movimentos sacádicos pode indicar que a busca por informação no meio ambiente é mais ativa, não se cingindo a rotinas pré-determinadas e, conseqüentemente, aumentando a quantidade de informação que conseguem retirar do meio envolvente. Esta interpretação é reforçada com a informação proveniente da análise individual da variação dos valores do Expoente de Lyapunov, onde se verifica o efeito “estabilizador” da fadiga para ambos os grupos estudados (Tabela 19 e Tabela 20). A diminuição significativa dos valores do Expoente de Lyapunov das coordenadas xx e yy na condição de fadiga indica que os participantes, nesta condição, optaram por uma estratégia mais conservadora de busca por informação no meio ambiente.

Era esperado que o Expoente de Lyapunov mostrasse a presença de diferenças que comprovassem tanto a influência da fadiga na variabilidade dos movimentos dos olhos, como as diferenças entre *experts* e *não-experts* na variabilidade destes padrões. A análise global sobre a estabilidade da posição dos olhos durante o percurso permitiu verificar parcialmente esta suposição, uma vez que não foram encontradas diferenças nos valores de Expoente de Lyapunov para a amplitude das sacadas, não obstante a tendência apresentada pelos valores médios se manter. Apesar destes valores indicarem a presença de um sistema instável, mas não aleatório, em ambos os grupos, os *experts* apresentam valores superiores.

No que diz respeito à fadiga, verifica-se também que o Expoente de Lyapunov é maior quando os atletas estão descansados, ou seja, a experiência e a ausência fadiga causam um aumento do grau de caoticidade no sistema visual – mas não de aleatoriedade, expresso através de valores superiores desta medida. Isto indica que o sistema é capaz de se movimentar no sentido de percorrer mais espaço visual (i.e., mais movimentos dos olhos) e afastando-se de uma tendência de convergência das sacadas numa determinada zona do olhar.

5.3.1.2. Análise da Entropia

Relativamente à comparação entre grupos dos valores da “*Sample Entropy*”, apenas se verificaram diferenças significativas para o eixo dos xx, na condição “Repouso”, ou seja, os movimentos dos olhos dos atletas *experts* foram significativamente mais variáveis do que os dos não-*experts* neste eixo (Tabela 17 e Tabela 18). Relativamente à *Sample Entropy* da amplitude das sacadas, não foram encontradas diferenças, embora os valores médios dos *experts* sejam superiores aos dos não *experts*.

No que diz respeito à análise intra-grupos, verificou-se o efeito da fadiga na variabilidade dos movimentos dos olhos apenas para os atletas *experts* (Tabela 19), não se tendo comprovado evidência estatística para a amplitude das sacadas. A redução significativa dos valores da *Sample Entropy*, em ambos os eixos, vai ao encontro do observado com o Expoente de Lyapunov, comprovando uma redução significativa da variabilidade e previsibilidade dos movimentos dos olhos com uma consequente redução daquilo que é passível de ser percebido pelos atletas.

Não há, na literatura, muitos estudos que se debrucem sobre a entropia nos movimentos sacádicos. É uma metodologia recente carecendo de mais estudos que confirmem a sua validade (Harezlak & Kasproski, 2018; Zargari Marandi et al., 2018). Não obstante, tanto os valores entre grupos como os valores intra-grupos confirmam as nossas hipóteses, demonstrando que a fadiga afeta variabilidade e previsibilidade dos movimentos sacádicos, condicionando, desta forma, o modo como o ambiente é percebido.

Há, contudo, uma limitação metodológica importante e que pode condicionar a interpretação dos resultados. Os dados provenientes de séries temporais sofrem influência do ruído do sinal. O alisamento de dados, no sentido de “afinar” o sinal, faz variar os resultados da entropia, ampliando as diferenças (Harezlak & Kasproski, 2018). Contudo, não se realizou este procedimento, mantendo os dados conforme vieram dos ETG.

Em suma, os atletas *experts* adotaram comportamentos sacádicos mais imprevisíveis e variáveis, sendo estes afetados pela indução de estados de fadiga. Os relatos empíricos dos atletas referem que, no final das provas ou quando se sentem

cansados, “não veem nada do percurso”. Estes relatos podem encontrar explicação na diminuição dos valores de entropia dos movimentos sacádicos por efeito da fadiga, que limitam a capacidade que o sistema visual tem para transmitir informação que possa ser utilizada posteriormente, no processo perceptivo-motor. Nesta linha, a percepção é limitada à partida pela capacidade do sistema em recolher informação.

5.3.1.3. *Expoente de Hurst*

O Expoente de Hurst é uma medida das correlações numa série temporal, que permite estudar a auto-similaridade de uma série temporal e o rácio a que estas autocorrelações diminuem à medida que a distância entre dois pontos dessa mesma série aumenta. Se a complexidade da tarefa for maior, espera-se que os valores deste indicador aumentem concomitantemente.

Valores superiores do Expoente de Hurst indicam que a tarefa é mais complexa. Isto foi comprovado no estudo de Aștefănoaei et al (2014). Neste caso, os participantes foram sujeitos a duas condições de teste. Numa primeira, era-lhes solicitado que olhassem para um alvo assim que o mesmo aparecesse no ecrã. Na segunda condição, tinham de pressionar um botão no fim de olhar para o alvo. Foi encontrada relação entre o aumento dos valores do Expoente de Hurst e as exigências cognitivas da tarefa, indicando que o aumento da carga cognitiva de uma tarefa pode gerar um grau de complexidade maior ao nível das sacadas.

Na comparação intra-grupos, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas que comprovassem o efeito da fadiga. Contudo, os valores relativamente ao Expoente de Hurst mostraram diferenças significativas entre *experts* e *não-experts*, na condição de repouso. Na condição de fadiga, embora a tendência para a apresentação de valores superiores por parte dos *não-experts* se mantivesse, não houve diferença significativa. Esperava-se que, com a fadiga, se verificasse um aumento do valor desta métrica, uma vez que a fadiga aumenta a percepção cognitiva da dificuldade de uma tarefa.

Em suma, a comparação dos valores da análise não linear dos movimentos dos olhos durante a corrida mostrou que, apesar da expectativa de uma maior expressão das

diferenças, os atletas experts e não experts apresentam padrões diferentes e que a fadiga afeta a manifestação desses padrões. No geral, os atletas *experts* apresentam um comportamento dos movimentos dos olhos mais variável que os *não-expert*, e esta variabilidade diminui com a *performance* e condições de fadiga.

5.4. Discussão geral

O objetivo principal deste trabalho era verificar se as estratégias e padrões visuais dos corredores de *trail* são afetados pela fadiga e pela experiência, ou seja, se a informação relevante retirada do meio ambiente durante a corrida de *trail* é afetada por estes constrangimentos individuais, confirmando assim uma eventual interação dinâmica entre o praticante, o envolvimento e a tarefa.

Os estudos que visam encontrar em atletas experientes gestos ideais são entendidos como importantes para a compreensão dos parâmetros de desempenho ideais, no sentido de se encontrar um modelo de referência para a tarefa em questão.

De uma forma geral, os resultados obtidos no presente estudo mostraram que as estratégias e os padrões de busca visual, i.e., a informação percebida e retirada do contexto ambiental durante a corrida de *trail*, varia em função do nível de experiência dos atletas. Estas diferenças manifestam-se tanto na análise qualitativa, expressa no número e tipo de fixações e quantitativa, expressa na definição dos padrões e estratégias de busca visual. Os *experts* apresentaram um menor número total de fixações nos AOI, tal como em estudos semelhantes, embora referentes a outras atividades (Decroix et al., 2017; Gegenfurtner et al., 2011; Mann et al., 2007; Murray & Hunfalvay, 2016). Contudo, ao contrário dos estudos supracitados, não se verificaram diferenças no tempo de fixações. A variabilidade dos padrões visuais, expressa nos valores de entropia visual, foi também maior.

O facto de os praticantes terem apresentado um menor número de fixações pode ser explicado pelo facto de a prática continuada levar a um refinamento do comportamento visual, levando a que os praticantes saibam melhor quais as áreas relevantes e quando é que estas assumem importância (Derek Panchuk & Vickers, 2013). Por outro lado, a experiência leva a uma modificação na forma como os sujeitos

se baseiam em diferentes formas de *feedback* sensorial, fazendo com que estes confiem mais na informação cinestésica do que na exproprioceptiva para planejar a sua ação (Oliveira, 2016).

Isto explica a razão pela qual os *experts* necessitam de menos informação visual para a mesma ação. Contudo, isto não significa que não seja necessária informação visual sobre o percurso, ou que esta assuma um papel secundário. Manzanares et al. (2017) e Decroix (2017), por exemplo, defendem a possibilidade de os praticantes de vela e ski, respetivamente, utilizarem a visão periférica para controlar o percurso, mantendo a visão central na linha de direção a tomar.

No contexto da corrida em terreno acidentado, contudo, o problema do praticante não passa apenas por controlar o seu trajeto. O praticante tem de controlar o posicionamento preciso do pé e planejar a próxima passada, ao mesmo tempo que tem de se deslocar de forma economicamente eficiente, obrigando a que, em certos casos, os padrões de marcha se alterem em função do terreno (Matthis et al., 2018). A capacidade de detetar e de tratar informação relevante no campo visual mais rapidamente do que os novatos traduz-se numa vantagem para os *experts* (Oliveira, 2016), uma vez que lhes dá tempo para alterar o posicionamento dos pés em conformidade.

É da conjugação destas características que emerge a capacidade dos *experts* em lidar com o terreno acidentado de forma mais eficiente do que os não-*experts*. No âmbito da corrente ecológica dinâmica, onde a informação relevante para a regulação da ação em ambientes dinâmicos emerge continuamente das interações entre o ambiente e o sujeito (Davids et al., 2013), os padrões visuais emergem da relação do sujeito com o ambiente, estando intimamente ligadas à interpretação que o primeiro faz deste. Assim, um menor número de fixações no terreno não é necessariamente sinónimo de pior *performance*. Antes, é um indicador de capacidade do sistema em recolher mais informação do contexto com menos recursos, que se confirma através dos valores superiores de entropia visual. Um menor número de fixações e uma variabilidade maior de fixações indica que o sistema recolhe mais informação do ambiente, já que precisa de menos tempo para recolher a informação necessária para lidar com o obstáculo, libertando o olhar para a busca por mais características do ambiente relevantes para a *performance*.

Outro dos objetivos do presente estudo centrava-se no estudo da influência da fadiga nos padrões de busca visual na corrida de *trail*. Parte fulcral do trabalho passava por criar condições de instalação de fadiga nos praticantes. A literatura consultada mostrou as especificidades da corrida de *trail* devem ser tidas em consideração na avaliação das capacidades fisiológicas destes praticantes (Balducci et al., 2016; Easthope et al., 2014; Ehrström et al., 2018; Giandolini et al., 2016; Mrakic-Sposta et al., 2015; Saboul, Balducci, Millet, Pialoux, & Hautier, 2016; Scheer et al., 2018). Estas considerações levaram a que nos afastássemos dos modelos mais tradicionais de indução de fadiga (em laboratório, numa esteira rolante) e criar um protocolo de teste onde esta fosse feita em contexto natural, conferindo desta forma alguma validade ecológica ao processo. Consideramos que este objetivo foi alcançado, já que a rota escolhida é parte integrante de um conjunto de trilhos utilizados para a prática desta modalidade, embora com um perfil de altimetria reduzido, principalmente para os atletas experientes.

A fadiga foi avaliada com base em critérios fisiológicos e cognitivos. As alterações ao nível da composição corporal, nomeadamente ao nível da quantidade de água corporal total, permitiram assegurar a ausência de instalação estados de desidratação ou hiponatremia, que poderiam interferir na associação das variáveis. Os valores da concentração sanguínea de lactato mostraram um impacto fisiológico significativo da prova nos participantes, facto que é comprovado pelos valores reportados referentes à perceção subjetiva de esforço. Adicionalmente, a análise dos dados referente à amplitude das sacadas confirma que os atletas se apresentavam num estado de fadiga, uma vez que a amplitude das sacadas aumentou significativamente depois da prova. Este aumento era expectável e é inclusivamente entendida como um indicador de fadiga, tendo já sido descrita em estudos onde se analisa a amplitude e velocidade das sacadas em tarefas de apontar (Yang et al., 2018), de condução automóvel (Shiferaw et al., 2018; Zhang, Wang, & Fu, 2014) com pilotos de aviação militar (Diaz-Piedra et al., 2016), cirurgiões (Di Stasi et al., 2014, 2016) e em estudos sobre o efeito do consumo de cafeína, dopamina e norepinefrina (Connell et al., 2016, 2017), pelo que consideramos que houve efetivamente a instalação de um estado de fadiga em ambos os grupos.

No âmbito do modelo dos constrangimentos de Newell (1986), a fadiga pode ser entendida como um constrangimento individual, que condiciona a manifestação de um determinado comportamento. Há, em fadiga, diminuição efetiva da *performance* física (Smith et al., 2015; Van Cutsem et al., 2017). Neste contexto, era expectável que este constrangimento obrigasse a uma modificação nas estratégias e nos padrões de busca visual.

Não é seguro afirmar, no entanto, que a fadiga influenciou a estratégia e os padrões de busca visual dos atletas que participaram no presente estudo. A análise dos dados referentes a este indicador mostrou um ligeiro efeito, não sendo suficientemente robusto para comprovar esta afirmação. Os valores da análise linear não mostraram o efeito da fadiga quer ao nível do número, do tempo ou do tipo de fixações nos AOI, o que vai ao encontro com o estudo de Smith et al. (2016), que não encontrou diferenças significativas entre as estratégias de busca visual de futebolistas mentalmente fatigados, comparado com os seus valores de repouso.

Na análise não linear dos dados esta interpretação é comprovada pela análise da entropia visual, que não sofreu quaisquer alterações para nenhum dos grupos em estudo, o que contraria as nossas hipóteses e o reportado em Shiferaw et al. (2018), no seu estudo com condutores em privação de sono. Foram encontradas, contudo, diferenças que mostraram algum efeito da fadiga nos padrões de busca visual tanto nos *experts* como nos não-*experts* através da entropia aproximada, da *Sample Entropy* e do expoente de Lyapunov. No entanto, estes valores não parecem ser robustos o suficiente para contrariar a nossa conclusão. São sim, indicadores que estas métricas estabelecem relações entre si que não são ainda claras.

Em suma, os padrões e estratégias visuais dos *experts* são diferentes dos não *experts*, sendo que estas diferenças se acentuam quando os atletas se encontram em situação de repouso. A instalação da fadiga não produz alterações significativas na estratégia de busca visual de *experts* e de não *experts*. Contudo, as ligeiras mudanças que ocorrem nas estratégias de busca visual fruto da fadiga são suficientes para esbater as diferenças entre grupos nesta condição.

5.5. Aplicações práticas

Perceber melhor o processo de percepção-ação nos atletas *experts* permite delinear estratégias para que se consiga chegar mais depressa ao nível deles. O conhecimento da forma como estes atletas “leem” o terreno, permite fornecer informação mais precisa sobre a forma como os praticantes se devem comportar em prova, para onde olhar para melhor retirar informação do ambiente, no sentido de serem mais capazes de planear a sua corrida em terreno acidentado e melhorar a eficiência deste gesto locomotor.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

Considerando a questão fundadora e os objetivos delineados para esta investigação e as hipóteses de estudo, conclui-se o seguinte:

Hipótese 1: *“Os praticantes de corrida de trail experientes apresentam menos fixações e de maior duração do que os praticantes não experientes”;*

Esta hipótese confirmou-se parcialmente.

Com base nos resultados, foram encontradas algumas diferenças entre experts e novatos em termos qualitativos, expresso na diferença do número e tipo de fixações efetuadas nos AOI selecionados. Os atletas experts apresentam menor número de fixações totais que os não experts. Contudo, a duração das fixações não apresenta diferenças.

Hipótese 2: *“As estratégias de busca visual dos praticantes experts são diferentes das dos não experts”;*

Esta hipótese verificou-se parcialmente.

Foram encontradas diferenças nos locais para onde experts e não experts olham. Os atletas não experts olham mais vezes para o terreno, mantendo o mesmo número de fixações nas pedras, o que indica que o olhar nos obstáculos, ou pontos fundamentais para a manutenção da fluidez da corrida são invariáveis e as fixações adicionais refletem estratégias exploratórias do sistema visual, de captação de informação do ambiente.

Hipótese 3: *“Os praticantes de corrida de trail experientes apresentam mais variabilidade nos padrões de movimentos dos olhos do que os não experts”;*

Esta hipótese foi confirmada.

A análise não linear aos movimentos sacádicos comprovou que os experts apresentam uma maior variabilidade de movimentos dos olhos do que os não experts. Estas encontram-se expressas em valores significativamente superiores para a *Sample Entropy* nos eixos xx e yy na condição de repouso, assim como valores superiores do Exponente de Lyapunov para os eixos xx e yy em ambas as condições de teste.

Hipótese 4: *“Os praticantes de corrida de trail experientes apresentam mais variabilidade nos padrões de fixações nas AOI do que os não experts”*

Esta hipótese não foi confirmada. Apesar de todos os valores de entropia visual e da entropia de transições de estado serem superiores nos participantes experts foram apenas encontradas diferenças na condição de fadiga. Estes valores não nos permitem afirmar que há diferenças. Contudo, parece-nos haver uma tendência clara, que deve ser investigada.

Hipótese 5: *“A instalação de um estado de fadiga provocado pela corrida de trail leva a uma diminuição do número de fixações e ao aumento dos tempos de fixação”;*

Contrariamente ao que esperávamos, não foi verificado o efeito da fadiga no número e tempo total de fixações tanto no grupo dos experts como no grupo dos não experts.

Hipótese 6: *“A fadiga provocada pela corrida de trail provoca uma diminuição da variabilidade dos padrões de busca visual”.*

Esta hipótese foi confirmada, tendo-se verificado um efeito significativo da fadiga na amplitude das sacadas, em ambos os grupos. Este efeito foi posteriormente confirmado através da análise não linear da variabilidade destes movimentos, particularmente para os atletas não experts, onde apresentaram valores significativamente superiores na condição de repouso.

Em síntese, e baseado nos resultados obtidos parece-nos haver diferenças na forma como os experts buscam informação visual durante a corrida de *trail*, ou em

terreno acidentado, sendo que estas diferenças se acentuam quando os atletas estão descansados. Os atletas experts apresentam menos fixações nos AOI, mas de mesma duração, o que lhes permite apresentar uma variabilidade dos padrões de movimentos sacádicos, i.e., de busca de informação no meio ambiente, maiores que os não experts. A fadiga não produz alterações significativas na estratégia de busca visual de *experts* e de não *experts*. Contudo, as ligeiras mudanças que ocorrem nas estratégias de busca visual fruto da fadiga são suficientes para esbater as diferenças entre grupos nesta condição.

6.1. Limitações

Esta pesquisa teve algumas limitações, das quais destacamos:

Para ter um melhor controlo sobre algumas variáveis que pudessem afetar o processo de recolha de dados com os ETG, a pista foi construída dentro de um pavilhão. Isto levou a limitações no que ao comprimento total da pista diz respeito, o que limitou, eventualmente, a quantidade de dados recolhidos por cada volta. Esta limitação levou a que, embora desta forma tivéssemos aumentado a quantidade de amostras válidas, perdéssemos alguma validade ecológica.

A opção pela escolha de um teste de avaliação da fadiga mental não validado, limitou a sua capacidade de avaliação. Os testes validados encontrados na literatura tinham uma duração demasiado longa, incompatível com o objetivo do presente estudo (Marcora et al., 2009; Smith et al., 2015; Van Cutsem et al., 2017). Esta escolha foi ponderada em virtude da necessidade de termos um teste rápido, que não permitisse que os participantes recuperassem da prova. O facto de ter um indicador fisiológico da carga cognitiva da tarefa, i.e., a amplitude das sacadas, permitiu, de certa forma, compensar esta falha.

A atividade dos participantes nos dias anteriores à prova de indução de fadiga e aos testes não foi controlada. Este facto poderá ter influenciado a velocidade e grau de instalação da fadiga durante a nossa prova, pelo que estudos futuros deverão controlar a atividade dos participantes nos dias anteriores à prova.

Tanto quanto sabemos, este é o primeiro estudo deste tipo feito em corredores de *trail*. As características deste desporto tornam difícil a organização de um design

experimental que conseguisse provocar estados de fadiga acentuada, em contextos experimentais, a atletas de níveis de *performance* diferentes, uma vez que os atletas experts apresentam uma capacidade notável de resistência. Encontrar uma distância que fosse exequível para ambos os grupos e que induzisse fadiga não foi fácil. Apesar de os indicadores de fadiga terem sido positivos, inclusivamente através dos valores da amplitude das sacadas, pensamos que os experts poderiam ter corrido uma distância maior, no sentido de aumentar os seus índices de fadiga.

6.2. Recomendações

Face ao estudo em análise, apresentam-se um conjunto de recomendações de estudos a ser desenvolvidos no sentido do aprofundamento da temática em questão:

A aplicação deste estudo em contextos de corrida de *trail* naturais permitiria compreender melhor as estratégias visuais utilizadas. Esta opção obrigaria a que fossem encontradas soluções que maximizassem o sucesso das recolhas, uma vez que situações de muita luminosidade, por exemplo, podem causar reflexos indesejados que diminuem a qualidade dos dados recolhidos. Num estudo muito recente (Matthis et al., 2018), a cabeça de um participante foi coberta, para assegurar as condições de luminosidade ideais para que os ETG pudessem funcionar corretamente. Pensamos que uma solução similar talvez se pudesse aplicar ao contexto da corrida de *trail*. Contudo, esta solução apresenta risco acrescido para a integridade dos participantes e do material de recolha de dados, uma vez que os participantes não têm visão completa do ambiente e o risco de queda ou acidente poderá aumentar.

Em estudos deste âmbito, um controlo mais efetivo da atividade dos atletas nos dias anteriores aos dias do teste permitirão ter um maior controlo dos níveis de carga de treino com que iniciam os testes, permitindo compreender melhor o impacto de provas deste género nos parâmetros de composição corporal, particularmente ao nível da acumulação de lactato.

Considerando a inexistência de estudos que avaliem o estado de fadiga mental durante a corrida de *trail* e a sua influência na *performance*, ou nos padrões de busca

visual, consideramos relevante a realização de estudos de validação de um protocolo que avalie de forma rápida este parâmetro.

O presente estudo centrou-se nos movimentos dos olhos, como parte integrante de um conjunto de recetores de informação sobre o ambiente. Neste contexto ecológico-dinâmico, pensamos que seria importante incluir em estudos futuros as variáveis cinemáticas da corrida para um melhor entendimento da relação entre a variabilidade dos padrões de visão e dos padrões de corrida, o que traria mais informação sobre a compreensão da relação entre a necessidade de estabilidade durante a corrida e a sua eficiência, bem como o papel da visão na “leitura” do terreno.

Finalmente, o cariz original deste estudo levanta oportunidades para o desenvolvimento de estudos similares, com amostras maiores ou de faixas etárias diferentes, que permitam a construção de um corpo de conhecimento mais sólido sobre o tema.

REFERÊNCIAS

- Abd-Elfattah, H. M., Abdelazeim, F. H., & Elshennawy, S. (2015, Maio). Physical and cognitive consequences of fatigue: A review. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.01.011>
- Adams, J. A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3(2), 111–150. <https://doi.org/10.1080/00222895.1971.10734898>
- Afonso, J., Garganta, J., McRobert, A., Williams, A. M., & Mesquita, I. (2012). The perceptual cognitive processes underpinning skilled performance in volleyball: Evidence from eye-movements and verbal reports of thinking involving an in situ representative task. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(2), 339–345. <https://doi.org/S/N>
- Allsop, J., & Gray, R. (2014). Flying under pressure: Effects of anxiety on attention and gaze behavior in aviation. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 3(2), 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2014.04.010>
- Antunes, B. M., Neto, J. G., Haraguchi, C. Y., Neves, R. X., Souza, H. S., Fernandes, R. A., & Lira, F. S. (2017). Relationship Between Salivary Biomarkers and Performance in Long-distance Running. *Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício*, 11(66), 278–283.
- Araújo, D. (2006). *Tomada de decisão no desporto*. Lisboa: Edições FMH.
- Araújo, D., Davids, K., Chow, J., Passos, P., & Raab, M. (2009). The development of decision making skill in sport: An ecological dynamics perspective. Em D. Araújo, H. Ripoll, & Hubert (Eds.), *Perspectives on Cognition and Action in Sport* (pp. 157–169). Suffolk: Nova Science Publishers.
- Araújo, D., Hristovski, R., Seifert, L., Carvalho, J., & Davids, K. (2017). Ecological cognition: expert decision-making behaviour in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2017.1349826>
- Aștefănoaei, C., Creangă, D., Pretegiani, E., Optican, L. M., & Rufa, A. (2014). Dynamical Complexity Analysis of Saccadic Eye Movements in Two Different Psychological

Conditions. *Romanian reports in physics*, 66(4), 1038–1055.

Aștefănoaei, C., Pretegiani, E., Optican, L. M., Creangă, D., & Rufa, A. (2013). Eye Movement Recording and Nonlinear Dynamics Analysis - The case of Saccades. *Romanian journal of biophysics*, 23(1-2), 81–92.

ATRP. (2018). Conceito de *Trail Running*. Obtido 7 de Fevereiro de 2018, de <http://atrp.pt/competicoes.php#>

Austin, G. P. (2001). Motor Control of Human Gait: A Dynamic Systems Perspective. *Orthopaedic Physical Therapy Clinics of North America*, 101, 17–34.

Baillet, M., Le Bris, S., & Hue, O. (2013). Fluid Replacement Strategy during a 27-Km *Trail Run* in Hot and Humid Conditions. *International Journal of Sports Medicine*, 35(02), 147–152. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1349108>

Baker, J., & Farrow, D. (2015). *Routledge Handbook of Sport Expertise*. (J. Baker & D. Farrow, Eds.) (1.^a ed.). New York: Routledge.

Balducci, P., Cléménçon, M., Morel, B., Quiniou, G., Saboul, D., & Hautier, C. A. (2016). Comparison of Level and Graded Treadmill Tests to Evaluate Endurance Mountain Runners. *Journal of sports science & medicine*, 15(2), 239–46.

Basdogan, C., & Amirouche, F. M. L. (1996). Nonlinear Dynamics of Human Locomotion : From the Perspective of Dynamical Systems Theory. *Engineering Systems Design and Analysis Conference*.

Belinchon-deMiguel, P., & Clemente-Suárez, V. J. (2018). Psychophysiological, Body Composition, Biomechanical and Autonomic Modulation Analysis Procedures in an Ultraendurance Mountain Race. *Journal of Medical Systems*, 42(2), 32. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0889-y>

Bernardin, D., Kadone, H., Bennequin, D., Sugar, T., Zaoui, M., & Berthoz, A. (2012). Gaze anticipation during human locomotion. *Experimental Brain Research*, 223(1), 65–78. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3241-2>

Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.

Blakely, M. J., Kemp, S., & Helton, W. S. (2015). Volitional Running and Tone Counting:

The Impact of Cognitive Load on Running Over Natural Terrain. *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*.
<https://doi.org/10.1080/21577323.2015.1055864>

Boey, H., Aeles, J., Schütte, K., & Vanwanseele, B. (2017). The effect of three surface conditions, speed and running experience on vertical acceleration of the tibia during running. *Sports Biomechanics*, 16(2), 166–176.
<https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1212918>

Boyer, E. R. (2015). *Rearfoot , mid / forefoot , and barefoot running : biomechanical differences related to injury*. Iowa State University.

Brunswik, E. (1956). *Perception and the Representative Design of Psychological Experiments* (2.^a ed.). Berkeley: University of California Press.

Bullock, T., & Giesbrecht, B. (2014). Acute exercise and aerobic fitness influence selective attention during visual search. *Frontiers in Psychology*, 5, 1290.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01290>

Casa, D. J., Stearns, R. L., Lopez, R., Ganio, M. S., McDermott, B. P., Yeargin, S. W., ... Maresh, C. M. (2010). Influence of hydration on physiological function and performance during *trail* running in the heat. *Journal of Athletic Training*, 45(2), 147–156. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.2.147>

Cejka, N., Knechtle, B., Rüst, C. A., Rosemann, T., & Lepers, R. (2015). Performance and Age of the Fastest Female and Male 100-km Ultramarathoners Worldwide From 1960 to 2012. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1180–1190.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000370>

Chase, A., & Hobbs, N. (2010). *Ultimate Guide to Trail Running: Everything You Need To Know About* (2.^a ed.). USA: Falcon Guides.

Chlíbková, D., Nikolaidis, P. T., Rosemann, T., Knechtle, B., & Bednář, J. (2018). Fluid Metabolism in Athletes Running Seven Marathons in Seven Consecutive Days. *Frontiers in physiology*, 9, 91. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00091>

Chlíbková, D., Rosemann, T., Posch, L., Matoušek, R., & Knechtle, B. (2016). Pre- and Post-Race Hydration Status in Hyponatremic and Non-Hyponatremic Ultra-Endurance Athletes. *The Chinese Journal of Physiology*, 59(3), 173–183.

<https://doi.org/10.4077/CJP.2016.BAE391>

- Clark, J. E., Truly, T. L., & Phillips, S. J. (1990). A Dynamical Systems Approach to Understanding the Development of Lower Limb Coordination in Locomotion. Em *Sensory-Motor Organizations and Development in Infancy and Early Childhood* (pp. 363–378). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2071-2_29
- Connell, C. J. W., Thompson, B., Kuhn, G., Claffey, M. P., Duncan, S., & Gant, N. (2016). Fatigue related impairments in oculomotor control are prevented by caffeine. *Scientific Reports*, 6(1), 26614. <https://doi.org/10.1038/srep26614>
- Connell, C. J. W., Thompson, B., Turuwhenuwa, J., Srzich, A., & Gant, N. (2017). Effects of Dopamine and Norepinephrine on Exercise-induced Oculomotor Fatigue. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(9), 1778–1788. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001307>
- Cope, T. A., & Kropelnicki, A. (2015). Eye injuries in the extreme environment ultra-marathon runner. *Case Reports*, 2015(jun02 1), bcr2015210432-bcr2015210432. <https://doi.org/10.1136/bcr-2015-210432>
- Couceiro, M. S., Clemente, F. M., Dias, G., Mendes, P., Martins, F. M. L., & Mendes, R. (2014). On an Entropy-based Performance Analysis in Sports.
- Crawford, T. J., Smith, E. S., & Berry, D. M. (2017). Eye Gaze and Aging: Selective and Combined Effects of Working Memory and Inhibitory Control. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 563. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00563>
- Creagh, U., Reilly, T., & Lees, A. (1998). Kinematics of running on «off-road» terrain. *Ergonomics*, 41(7), 1029–1033. <https://doi.org/10.1080/001401398186577>
- Croft, J. L., Button, C., & Dicks, M. (2010). Visual strategies of sub-elite cricket batsmen in response to different ball velocities. *Human Movement Science*, 29(5), 751–763. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.10.004>
- Dauids, K., Araújo, D., Vilar, L., Renshaw, I., & Pinder, R. (2013). An Ecological Dynamics Approach to Skill Acquisition: Implications for Development of Talent in Sport Theoretical Principles of Ecological Dynamics. *Talent Development and Excellence*, 5(1), 21–34.

- Davids, K., Button, C., Araújo, D., Renshaw, I., & Hristovski, R. (2006). Movement models from sports provide representative task constraints for studying adaptive behavior in human movement systems. *Adaptive Behavior*, *14*(1), 73–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/105971230601400103>
- Davids, K., Button, C., & Bennet, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints led Approach*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Davids, K., Glazier, P., Araújo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems: The functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, *33*(4), 245–260. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333040-00001>
- Davids, K., Hristovski, R., Araújo, D., Serre, N. B., Button, C., & Passos, P. (2014). *Complex Systems in Sport*. (K. Davids, R. Hristovski, D. Araújo, N. B. Serre, C. Button, & P. Passos, Eds.), *Complex Systems in Sport*. Oxon: Routledge.
- Decroix, M., Wazir, M. R. W. N., Zeuwts, L., Deconinck, F. F. J. A., Lenoir, M., & Vansteenkiste, P. (2017). Expert – Non-expert differences in visual behaviour during alpine slalom skiing. *Human Movement Science*, *55*, 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.08.012>
- Degache, F., Guex, K., Fourchet, F., Morin, J.-B., Millet, G., Tomazin, K., & Millet, G. (2013). Changes in running mechanics and spring-mass behaviour induced by a 5-hour hilly running bout. *Journal of Sports Sciences*, *31*(3), 299–304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.729136>
- Degache, F., Van Zaen, J., Oehen, L., Guex, K., Trabucchi, P., & Millet, G. (2014). Alterations in Postural Control during the World’s Most Challenging Mountain Ultra-Marathon. *PLoS ONE*, *9*(1), e84554. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084554>
- Deneen, W. P., & Jones, A. B. (2017). Cortisol and Alpha-amylase changes during an Ultra-Running Event. *International journal of exercise science*, *10*(4), 531–540.
- Dessing, J. C., Rey, F. P., & Beek, P. J. (2012). Gaze fixation improves the stability of expert juggling. *Experimental brain research*, *216*(4), 635–44. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2967-6>
- Di Stasi, L. L., Diaz-Piedra, C., Rieiro, H., Sánchez Carrión, J. M., Martin Berrido, M.,

- Olivares, G., & Catena, A. (2016). Gaze entropy reflects surgical task load. *Surgical Endoscopy*, *30*(11), 5034–5043. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-4851-8>
- Di Stasi, L. L., McCamy, M. B., Macknik, S. L., Mankin, J. A., Hooft, N., Catena, A., & Martinez-Conde, S. (2014). Saccadic Eye Movement Metrics Reflect Surgical Residents' Fatigue. *Annals of Surgery*, *259*(4), 824–829. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000260>
- Dias, G. (2011). *A Teoria dos Sistemas Dinâmicos na Execução do Putting*. Universidade de Coimbra.
- Dias, G., Mendes, P., Santos, J., Gama, J., Mendes, R., Menayo, R., & Fuentes, J. P. (2015). Cognition and Action: an Ecological Perspective in Sport. *European Journal of Human Movement*, *35*(0), 137–147.
- Diaz-Piedra, C., Rieiro, H., Suárez, J., Rios-Tejada, F., Catena, A., & Di Stasi, L. L. (2016). Fatigue in the military: towards a fatigue detection test based on the saccadic velocity. *Physiological Measurement*, *37*(9), N62–N75. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/37/9/N62>
- Dicks, M., Button, C., & Davids, K. (2010). Examination of gaze behaviors under in situ and video simulation task constraints reveals differences in information pickup for perception and action. *Attention Perception & Psychophysics*, *72*(3), 706–720. <https://doi.org/Doi.10.3758/App.72.3.706>
- Dicks, M., Button, C., Davids, K., Chow, J. Y., & van der Kamp, J. (2016). Keeping an Eye on Noisy Movements: On Different Approaches to Perceptual-Motor Skill Research and Training. *Sports Medicine*, 1–7. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0600-3>
- Dogusoy-Taylan, B., & Cagiltay, K. (2014). Cognitive analysis of experts' and novices' concept mapping processes: An eye tracking study. *Computers in Human Behavior*, *36*, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.03.036>
- Droll, J. A., & Hayhoe, M. (2007). Trade-offs between gaze and working memory use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *33*(6), 1352–1365. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1352>
- Ducharme, S. W., & van Emmerik, R. E. A. (2018). Fractal Dynamics, Variability, and Coordination in Human Locomotion. *Kinesiology Review*, *7*(1), 26–35.

<https://doi.org/10.1123/kr.2017-0054>

- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology*. Vasa.
<https://doi.org/10.1145/1117309.1117356>
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice* (3.^a ed.). London: Springer.
- Easthope, C. S. (2013). *Reducing muscular fatigue in trail running - mechanisms and strategies*. Université Nice Sophia Antipolis; University of Sydney.
- Easthope, C. S., Nosaka, K., Caillaud, C., Vercruyssen, F., Louis, J., & Brisswalter, J. (2014). Reproducibility of performance and fatigue in *trail* running. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *17*(2), 207–211. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.009>
- Ehrström, S., Tartaruga, M. P., Easthope, C. S., Brisswalter, J., Morin, J.-B., & Vercruyssen, F. (2018). Short *Trail* Running Race: Beyond the Classic Model for Endurance Running Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *50*(3), 580–588. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001467>
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(11), 2228–2238. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929>
- Estep, A., Morrison, S., Caswell, S., Ambegaonkar, J., & Cortes, N. (2018). Differences in pattern of variability for lower extremity kinematics between walking and running. *Gait & Posture*, *60*, 111–115. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2017.11.018>
- Fajen, B., Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2008). Information, affordances, and the control of action in sport. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SPORT PSYCHOLOGY*, *40*, 79–107.
- Fennel, J., Goodwin, C., Burn, J. F., & Leonards, U. (2015). How visual perceptual grouping influences foot placement. *Royal Society Open Science*, *2*, 150-151. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1098/rsos.150151>
- Ferreira, A. R. P., Santos, W. S., Aidar, F. J., Matos, D. G. De, & Souza, R. F. De. (2016). Analysis of the Response of Blood Lactate, Blood Glucose, Peripheral Oxygen Saturation, and Heart Rate during the *Trail* Running Competition. *Journal of Exercise Physiology online*, *19*(2), 27–33.

- Frank, T. D., Michelbrink, M., Beckmann, H., & Schöllhorn, W. I. (2008). A quantitative dynamical systems approach to differential learning: Self-organization principle and order parameter equations. *Biological Cybernetics*, *98*(1), 19–31. <https://doi.org/10.1007/s00422-007-0193-x>
- Freddo, T., & Chaum, E. (2018). *Anatomy of the eye and orbit: the clinical essentials* (1.^a ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer Health.
- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., & Säljö, R. (2011). Expertise Differences in the Comprehension of Visualizations: a Meta-Analysis of Eye-Tracking Research in Professional Domains. *Educational Psychology Review*, *23*(4), 523–552.
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. *International journal of endocrinology and metabolism*, *10*(2), 486–9. <https://doi.org/10.5812/ijem.3505>
- Giandolini, M., Horvais, N., Rossi, J., Millet, G., Morin, J.-B., & Samozino, P. (2015). Acute and delayed peripheral and central neuromuscular alterations induced by a short and intense downhill *trail* run. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, pp. 1321–1333. <https://doi.org/10.1111/sms.12583>
- Giandolini, M., Horvais, N., Rossi, J., Millet, G. Y., Samozino, P., & Morin, J. B. (2016). Foot strike pattern differently affects the axial and transverse components of shock acceleration and attenuation in downhill *trail* running. *Journal of Biomechanics*. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.04.001>
- Giandolini, M., Pavaille, S., Samozino, P., Morin, J.-B., & Horvais, N. (2015). Foot strike pattern and impact continuous measurements during a *trail* running race: proof of concept in a world-class athlete. *Footwear Science*, *7*(2), 127–137. <https://doi.org/10.1080/19424280.2015.1026944>
- Giandolini, M., Vernillo, G., Samozino, P., Horvais, N., Edwards, W. B., Morin, J.-B., & Millet, G. Y. (2016). Fatigue associated with prolonged graded running. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(10), 1859–1873. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3437-4>
- Gibson, J. (1950). *The Perception of the Visual World*. Oxford: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton

Mifflin.

- Gilland, J. (2008). *Driving, Eye-tracking and Visual Entropy: Exploration of Age and Task Effects*. University of South Dakota.
- Godinho, M. (2007). *Controlo Motor e Aprendizagem - Fundamentos e Aplicações*. (FMH, Ed.) (3^a). Cruz-quebrada.
- Gonzalez, C. C., Causer, J., Miall, R. C., Grey, M. J., Humphreys, G., & Williams, A. M. (2015). Identifying the causal mechanisms of the quiet eye. *European Journal of Sport Science*, 1391(January), 1–11. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1075595>
- Hackney, A. L., Zakoor, A., & Cinelli, M. E. (2015). The effects of specific athletic training on path selection while running. *Gait and Posture*, 41, 323–325. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.09.018>
- Haider, H., & Frensch, P. (1999). Eye movement during skill acquisition: More evidence for the information-reduction hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 172–190.
- Hambleton, C., Deckert, J., & Gallagher, P. (2015). The Effects of Ultra Marathon Trail Running on Salivary Biomarkers. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*, 11(3).
- Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement variability and the use of nonlinear tools: principles to guide physical therapist practice. *Physical therapy*, 89(3), 267–82. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080130>
- Harezlak, K., & Kasprowski, P. (2018). Searching for Chaos Evidence in Eye Movement Signals. *Entropy*, 20(1), 32. <https://doi.org/10.3390/e20010032>
- Hayhoe, M., & Ballard, D. (2005). Eye movements in natural behavior. *Trends in cognitive sciences*, 9(4), 188–94. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.02.009>
- Henderson, J. M. (2017). Gaze Control as Prediction. *Trends in Cognitive Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.11.003>
- Hicks, M., & Powell, B. (2016). *Where the road ends: a guide to trail running*. (Human Kinetics, Ed.). Champaign, IL.

- Higuchi, T. (2013). Visuomotor control of human adaptive locomotion: understanding the anticipatory nature. *Frontiers in psychology*, 4, 277. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00277>
- Høeg, T. B., Corrigan, G. K., & Hoffman, M. (2015). An investigation of ultramarathon-associated visual impairment. *Wilderness & environmental medicine*, 26(2), 200–4. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2014.10.003>
- Hoffman, M. D., Goulet, E. D. B., & Maughan, R. J. (2018). Considerations in the Use of Body Mass Change to Estimate Change in Hydration Status During a 161-Kilometer Ultramarathon Running Competition. *Sports Medicine*, 48(2), 243–250. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0782-3>
- Hoffman, M. D., & Stuempfle, K. J. (2014). Hydration strategies, weight change and performance in a 161 km ultramarathon. *Research in sports medicine (Print)*, 22(3), 213–25. <https://doi.org/10.1080/15438627.2014.915838>
- Hoffman, M., & Fogard, K. (2011). Factors Related to Successful Completion of a 161-km Ultramarathon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 25–37.
- Hoffman, M., Ong, J. C., & Wang, G. (2010). Historical Analysis of Participation in 161 km Ultramarathons in North America. *The International Journal of the History of Sport*, 27(11), 1877–1891. <https://doi.org/10.1080/09523367.2010.494385>
- Hollands, M., & Marple-Horvat, D. E. (2001). Coordination of Eye and Leg Movements During Visually Guided Stepping. *Journal of Motor Behavior*, 33(2), 205–216. <https://doi.org/10.1080/00222890109603151>
- Hollands, M., Marple-Horvat, D. E., Henkes, S., & Rowan, a. K. (1995). Human Eye Movements During Visually Guided Stepping. *Journal of motor behavior*, 27(2), 155–163. <https://doi.org/10.1080/00222895.1995.9941707>
- Hollands, M., Patla, A., & Vickers, J. (2002). «Look where you're going!»: Gaze behaviour associated with maintaining and changing the direction of locomotion. *Experimental Brain Research*, 143(2), 221–230. <https://doi.org/10.1007/s00221-001-0983-7>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Weijer, J. Van De. (2015). *Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures*. Oxford:

Oxford University Press.

- Hristovski, R., Balagué, N., Zivkovic, V., Aleksovska-Velickovska, L., & Naumovski, M. (2012). Linear and nonlinear complex systems approach to sports. Explanatory differences and applications. *Research in Physical Education, Sport and Health*, 1(1), 25-31.
- Hristovski, R., Davids, K., Araújo, D., & Button, C. (2006). How boxers decide to punch a target: emergent behaviour in nonlinear dynamical movement systems. *Journal of sports science & medicine*, 5(CSSI), 60–73.
- Hue, O., Henri, S., Baillot, M., Sinnapah, S., & Uzel, A.-P. (2014). Thermoregulation, Hydration and Performance over 6 Days of *Trail* Running in the Tropics. *Int J Sports Med*, 35(35), 906–911. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1361186>
- IPMA. (2017). METEO@ipma.
- ITRA. (2018). Definition of *Trail*-Running. Obtido 7 de Fevereiro de 2018, de http://www.i-tra.org/page/259/Definition_of_trail-running.html
- Jovancevic-Misic, J., & Hayhoe, M. (2009). Adaptive Gaze Control in Natural Environments. *Journal of Neuroscience*, 29(19), 6234–6238. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5570-08.2009>
- Kasmer, M. E., Liu, X., Roberts, K. G., & Valadao, J. M. (2016). The relationship of foot strike pattern, shoe type, and performance in a 50-km *trail* race. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1633–1637. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a20ed4>
- Keenan, K. G., Huddleston, W. E., & Ernest, B. E. (2017). Altered visual strategies and attention are related to increased force fluctuations during a pinch grip task in older adults. *Journal of Neurophysiology*, 118(5), 2537–2548. <https://doi.org/10.1152/jn.00928.2016>
- Kelso, J. A. (2012). Multistability and metastability: understanding dynamic coordination in the brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1591), 906–918. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0351>
- Kelso, S. (1995). *Dynamic Patterns: The Self-organization of Brain and Behavior*.

Cambridge, MA: MIT Press.

- Kibele, A., Granacher, U., Muehlbauer, T., & Behm, D. G. (2015). Stable, Unstable and Metastable States of Equilibrium: Definitions and Applications to Human Movement. *Journal of sports science & medicine*, *14*(4), 885–7.
- Klostermann, A., & KÜng, P. (2016). Gaze Strategies in Skateboard Trick Jumps: Spatiotemporal Constraints in Complex Locomotion. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *88*(1), 101–107. <https://doi.org/10.1080/02701367.2016.1229864>
- Knechtle, B., Senn, O., Imoberdorf, R., Joleska, I., Wirth, A., Knechtle, P., & Rosemann, T. (2011). No Fluid Overload in Male Ultra-Runners During a 100 km Ultra-Run. *Research in Sports Medicine*, *19*(1), 14–27. <https://doi.org/10.1080/15438627.2010.510039>
- Knoth, C., Knechtle, B., Rüst, C. A., Rosemann, T., & Lepers, R. (2012). Participation and performance trends in multistage ultramarathons-the «Marathon des Sables» 2003-2012. *Extreme Physiology and Medicine*, *1*(1), 13. <https://doi.org/10.1186/2046-7648-1-13>
- Koblbauer, I. F., van Schooten, K. S., Verhagen, E. A., & van Dieën, J. H. (2014). Kinematic changes during running-induced fatigue and relations with core endurance in novice runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *17*(4), 419–424. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.05.013>
- Komar, J., Seifert, L., & Thouvarecq, R. (2015). What variability tells us about motor expertise: measurements and perspectives from a complex system approach. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, *89*(89), 65–77. <https://doi.org/10.1051/sm/2015020>
- Kredel, R., Vater, C., Klostermann, A., & Hossner, E.-J. (2017). Eye-Tracking Technology and the Dynamics of Natural Gaze Behavior in Sports: A Systematic Review of 40 Years of Research. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1845. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01845>
- Krejtz, K., Duchowski, A. T., Szmids, T., Krejtz, I., González Perilli, F., Pires, A., ... Villalobos, N. (2015). Gaze Transition Entropy. *ACM Transactions on Applied Perception*, *13*(1), 1–20. <https://doi.org/10.1145/2834121>

- Kugler, P. N., Kelso, J. A., & Turvey, M. T. (1980). On The Concept of Coordinative Structures as Dissipative Structures: I. Theoretical Lines of Convergence. *Advances in Psychology*, 1(C), 3–47. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61936-6](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61936-6)
- Kuo, A. D. (2007). The six determinants of gait and the inverted pendulum analogy: A dynamic walking perspective. *Human Movement Science*, 26(4), 617–656. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.04.003>
- Lai, M. L., Tsai, M. J., Yang, F. Y., Hsu, C. Y., Liu, T. C., Lee, S. W. Y., ... Tsai, C. C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10(88), 90–115. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.BRAINRES.2010.03.091>
- Land, M. (2006). Eye movements and the control of actions in everyday life. *Progress in Retinal and Eye Research*, 25(3), 296–324. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2006.01.002>
- Land, M. (2009). Vision, eye movements, and natural behavior. *Visual Neuroscience*, 26(1), 51–62. <https://doi.org/10.1017/S0952523808080899>
- Land, M., & Furneaux, S. (1997). The knowledge base of the oculomotor system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 352(1358), 1231–1239. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0105>
- Land, M., & Hayhoe, M. (2001). In what ways do eye movements contribute to everyday activities? *Vision Research*, 41(25–26), 3559–3565. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00102-X](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00102-X)
- Land, M., & McLeod, P. (2000). From eye movements to actions: how batsmen hit the ball. *Nature Neuroscience*, 3(12), 1340–1345. <https://doi.org/10.1038/81887>
- Lappi, O. (2016). Eye movements in the wild: Oculomotor control, gaze behavior and frames of reference. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 69, 49–68. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.006>

- Lappi, O., Rinkkala, P., & Pekkanen, J. (2017). Systematic Observation of an Expert Driver's Gaze Strategy—An On-Road Case Study. *Frontiers in Psychology, 8*, 620. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00620>
- Larsen, R. J., Jackson, W. H., & Schmitt, D. (2016). Mechanisms for regulating step length while running towards and over an obstacle. *Human Movement Science, 49*, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.07.002>
- Latash, M. L., Gorniak, S., & Zatsiorsky, V. M. (2008). Hierarchies of Synergies in Human Movements. *Kinesiology, 40*(1), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.08.021>. Secreted
- Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schönner, G. (2007). Toward a New Theory of Motor Synergies. *Motor Control, 11*(3), 276–308. <https://doi.org/10.1123/mcj.11.3.276>
- Latash, M. L., & Zatsiorsky, V. M. (2001). *Classics in movement science*. Human Kinetics.
- Laureano, R. (2011). *Testes de hipóteses com SPSS*. Lisboa: Edições Sílabo, LDA.
- Lebeau, J.-C., Liu, S., Sáenz-Moncaleano, C., Sanduvete-Chaves, S., Chacón-Moscoso, S., Becker, B. J., & Tenenbaum, G. (2016). Quiet Eye and Performance in Sport: A Meta-Analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 38*(5), 441–457. <https://doi.org/10.1123/jsep.2015-0123>
- Leclercq, G., Blohm, G., & Lefevre, P. (2013). Accounting for direction and speed of eye motion in planning visually guided manual tracking. *Journal of Neurophysiology, 110*(8), 1945–1957. <https://doi.org/10.1152/jn.00130.2013>
- Lee, D. N., & Lishman, J. (1977). Visual Control of Locomotion. *Scandinavian Journal of Psychology, 18*(1), 224–230. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1977.tb00281.x>
- Li, W.-C., Yu, C., Li, L.-W., & Greaves, M. (2014). Pilots' eye movement patterns during performing air-to-air mission.
- Li, Z.-M. (2006). Functional degrees of freedom. *Motor control, 10*(4), 301–10.
- Lopez, R., Casa, D. J., Jensen, K. A., DeMartini, J. K., Pagnotta, K. D., Ruiz, R. C., ... Maresh, C. M. (2011). Examining the influence of hydration status on physiological responses and running speed during *trail* running in the heat with controlled exercise intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research, 25*(11), 2944–2954.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318231a6c8>

- Lopez, R., Casa, D. J., Jensen, K. A., Stearns, R. L., DeMartini, J. K., Pagnotta, K. D., ... Maresh, C. M. (2016). Comparison of two fluid replacement protocols during a 20-km *trail* running race in the heat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(9), 2609–2616. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001359>
- Luis del Campo, V., Canelo Fariñas, A., Domínguez Márquez, F. J., & Morenas Martín, J. (2018). The influence of refereeing experiences judging offside actions in football. *Psychology of Sport and Exercise*. <https://doi.org/10.1016/J.PSYCHSPORT.2018.03.004>
- Machado, G., Cardoso, F., & Teoldo, I. (2017). Visual search strategy of soccer players according to different age groups. *Motriz: Revista de Educação Física*, *23*(3). <https://doi.org/10.1590/s1980-6574201700030022>
- Magill, R. A. (2007). *Motor Learning and Control: Concepts and Applications* (8^a). New York: McGraw-Hill.
- Malliaropoulos, N., Mertyri, D., & Tsaklis, P. (2015). Prevalence of Injury in Ultra *Trail* Running. *Human Movement*, *16*(2), 52–59. <https://doi.org/10.1515/humo-2015-0026>
- Mann, D. T. Y. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-Cognitive Expertise in Sport: A Meta-Analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *29*(4), 457–478. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457>
- Manzanares, A., Menayo, R., & Segado, F. (2017). Visual Search Strategy During Regatta Starts in a Sailing Simulation. *Motor Control*, *21*(4), 413–424. <https://doi.org/10.1123/mc.2015-0092>
- Marcora, S., Bosio, A., & de Morree, H. M. (2008). Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress. *AJP: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *294*(3), R874–R883. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00678.2007>
- Marcora, S., & Staiano, W. (2010). The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? *European Journal of Applied Physiology*, *109*(4), 763–770.

<https://doi.org/10.1007/s00421-010-1418-6>

- Marcora, S., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, *106*(3), 857–864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>
- Marôco, J. (2010). *Análise Estatística com o PASW Statistics (ex-SpSS)*. Lisboa: ReportNumber.
- Martins, F. M. L., Silva, F., Clemente, F. M., Gomes, A., Correia, A., Nguyen, Q., ... Lopes, V. (2018). Ultimate Performance Analysis Tool (uPATO).
- Matthis, J., Barton, S., & Fajen, B. (2015). The biomechanics of walking shape the use of visual information during locomotion over complex terrain. *Journal of Vision*, *15*(3), 10. <https://doi.org/10.1167/15.3.10>
- Matthis, J., & Fajen, B. (2014). Visual control of foot placement when walking over complex terrain. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(1), 106–115. <https://doi.org/10.1037/a0033101>
- Matthis, J., Yates, J. L., & Hayhoe, M. M. (2018). Gaze and the Control of Foot Placement When Walking in Natural Terrain. *Current biology: CB*, *28*(8), 1224–1233.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.008>
- McCormick, A., Meijen, C., & Marcora, S. (2015). Psychological Determinants of Whole-Body Endurance Performance. *Sports Medicine*, *45*(7), 997–1015. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0319-6>
- McGuckian, T. B., Cole, M. H., & Pepping, G. J. (2018). A systematic review of the technology-based assessment of visual perception and exploration behaviour in association football. *Journal of Sports Sciences*, *36*(8). <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1344780>
- McMorris, T., & Hale, B. J. (2015). Is there an acute exercise-induced physiological/biochemical threshold which triggers increased speed of cognitive functioning? A meta-analytic investigation. *Journal of Sport and Health Science*, *4*(1), 4–13. <https://doi.org/10.1016/J.JSHS.2014.08.003>
- Mendes, P. C., Fuentes Garcia, J. P., Sousa Mendes, R. M., Lourenço Martins, F. M., Batista

- Clemente, F. M., & Couceiro, M. S. (2013). The variability of the serve toss in tennis under the influence of artificial crosswind. *Journal of Sports Science and Medicine*, *12*(2), 309–315.
- Michaels, F. C., & Carello, C. (1981). *Direct perception*. *Century Psychology Series*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. <https://doi.org/10.1002/0470018860.s00170>
- Millet, G. (2011). Can Neuromuscular Fatigue Explain Running Strategies and Performance in Ultra-Marathons? *Sports Medicine*, *41*(6), 489–506. <https://doi.org/10.2165/11588760-000000000-00000>
- Millet, G. Y., Martin, V., & Temesi, J. (2018). The Role of the Nervous System in Neuromuscular Fatigue Induced by Ultra-Endurance Exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, apnm-2018-0161. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0161>
- Moon, J., & Kendall, K. (2017). Body Composition in Sports and Occupations: Endurance Athletes. Em H. C. Lukaski (Ed.), *Body Composition: health and performance in exercise and sport* (pp. 171–210). Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- Mrakic-Sposta, S., Gussoni, M., Moretti, S., Pratali, L., Giardini, G., Tacchini, P., ... Vezzoli, A. (2015). Effects of Mountain Ultra-Marathon Running on ROS Production and Oxidative Damage by Micro-Invasive Analytic Techniques. *PLOS ONE*, *10*(11), e0141780. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141780>
- Muller, R., Haufle, D. F. B., & Blickhan, R. (2015). Preparing the leg for ground contact in running: the contribution of feed-forward and visual feedback. *The Journal of experimental biology*, *218*, 451–457. <https://doi.org/10.1242/jeb.113688>
- Murata, A., & Matsuura, T. (2015). Nonlinear Dynamical Analysis of Eye Movement Characteristics Using Attractor Plot and First Lyapunov Exponent (pp. 78–85). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20916-6_8
- Murray, N. P., & Hunfalvay, M. H. (2016). A comparison of visual search strategies of elite and non-elite tennis players through cluster analysis. *Article in Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1161215>
- Newell, K. (1986). Constraints on the development of coordination. Em M. Wade & H. Whittings (Eds.), *Motor Skill Acquisition in Children: Aspects of Coordination and*

control (pp. 341–360). Amsterdam: Martinies NIJHOS.

Newell, K. (1991). Motor Skill Acquisition. *Annual Review of Psychology*, 42(1), 213–237.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ps.42.020191.001241>

O'Donoghue, P. (2013). *Statistics for sport and exercise studies: an introduction*. Oxon: Routledge.

Oliveira, R. (2016). Visual Perception in Expert Action. Em *Performance Psychology* (pp. 253–271). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803377-7.00016-8>

Orth, D., van der Kamp, J., Memmert, D., & Savelsbergh, G. J. P. (2017). Creative Motor Actions As Emerging from Movement Variability. *Frontiers in psychology*, 8, 1903.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01903>

Oudejans, R. R. D., Koedijker, J. M., Bleijendaal, I., & Bakker, F. C. (2005). The education of attention in aiming at a far target: Training visual control in basketball jump shooting. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 3(2), 197–221.
<https://doi.org/10.1080/1612197X.2005.9671767>

Pageaux, B. (2016). Perception of effort in Exercise Science: Definition, measurement and perspectives. *European Journal of Sport Science*, 16(8), 885–894.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1188992>

Pageaux, B., & Lepers, R. (2016). Fatigue Induced by Physical and Mental Exertion Increases Perception of Effort and Impairs Subsequent Endurance Performance. *Frontiers in Physiology*, 7, 587. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00587>

Pallant, J. (2011). *SPSS Survival Manual. A step by step guide to data analysis using SPSS* (4.^a ed.). Crows Nest NSW: Allen & Unwin.

Palmer, L. R., & Eaton, C. E. (2014). Periodic spring–mass running over uneven terrain through feedforward control of landing conditions. *Bioinspiration & Biomimetics*, 9(3), 036018. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/9/3/036018>

Panchuk, D., & Vickers, J. (2013). Expert visual perception: Why having a quiet eye matters in sport. Em *Developing expertise in sport: Researchers and coaches put theory into practice* (pp. 193–207).

Panchuk, D., Vine, S., & Vickers, J. (2015). Eye tracking methods in sport expertise.

Routledge Handbook of Sport Expertise, (October 2016).

- Patla, A. (1997). Understanding the roles of vision in the control of human locomotion. *Gait & posture*, 5, 54–69. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(96\)01109-5](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(96)01109-5)
- Patla, A. (2004). Gaze Behaviors During Adaptive Human Locomotion: Insights into How Vision is Used to Regulate Locomotion. Em *Optic Flow and Beyond* (pp. 383–399). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2092-6_17
- Patla, A., & Vickers, J. (1997). Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel path? *NeuroReport*, 8(17), 3661–3665. <https://doi.org/10.1097/00001756-199712010-00002>
- Patla, A., & Vickers, J. (2003). How far ahead do we look when required to step on specific locations in the travel path during locomotion? *Experimental Brain Research*, 148(1), 133–138. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1246-y>
- Pestana, M., & Gageiro, J. (2008). *Análise de dados para ciências sociais – A complementaridade do SPSS*. Lisboa: Edições Sílabo, LDA.
- Pezzulo, G., & Cisek, P. (2016). Navigating the Affordance Landscape: Feedback Control as a Process Model of Behavior and Cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(6), 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.03.013>
- Pinder, R. A., Davids, K., & Renshaw, I. (2012). Metastability and emergent performance of dynamic interceptive actions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(5), 437–443. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.01.002>
- Pinder, R. A., Davids, K., Renshaw, I., & Araújo, D. (2011). Representative learning design and functionality of research and practice in sport. *Journal of sport & exercise psychology*, 33(1), 146–155.
- Pizzera, A., Möller, C., & Plessner, H. (2018). Gaze Behavior of Gymnastics Judges: Where Do Experienced Judges and Gymnasts Look While Judging? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(1), 112–119. <https://doi.org/10.1080/02701367.2017.1412392>
- Pizzuto, F., Rago, V., Bailey, R., Tafuri, D., & Raiola, G. (2016). The Importance of Foot-Strike Patterns in Running: A Literature Review. *Sport Science*, 9(1), 87–96.

- Profeta, V. L. S., & Turvey, M. T. (2018). Bernstein's levels of movement construction: A contemporary perspective. *Human Movement Science*, *57*, 111–133. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.11.013>
- Regan, D., & Beverley, K. (1982). How do we avoid confounding the direction we are looking and the direction we are moving? *Science*, *215*(4529), 194–196. <https://doi.org/10.1126/science.7053572>
- Regulska-Ilow, B., Kosendiak, A., Konikowska, K., Rózanska, D., Ilow, R., Kawicka, A., & Dudziak, K. (2014). Athletes' Body Content Analysis Before and After Marathon by Bioelectrical Impedance. *Polish Journal of Sport Medicine*, *30*(2(4)), 93–102.
- Reynolds, R. F., & Day, B. L. (2005). Visual guidance of the human foot during a step. *The Journal of physiology*, *569*(2), 677–684. <https://doi.org/https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.095869>
- Rienhoff, R., Tirp, J., Strauß, B., Baker, J., & Schorer, J. (2016). The 'Quiet Eye' and Motor Performance: A Systematic Review Based on Newell's Constraints-Led Model. *Sports Medicine*, *46*(4), 589–603. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0442-4>
- Ripoll, H., Fleurance, P., & Cazeneuve, D. (1987). Analysis of Visual Patterns of Table Tennis Players. In *Eye Movements from Physiology to Cognition* (pp. 616–617). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-70113-8.50085-0>
- Rothkopf, C. A., Ballard, D., & Hayhoe, M. (2007). Task and context determine where you look. *Journal of Vision*, *7*(14), 1–20. <https://doi.org/10.1167/7.14.16>
- Royden, C. S., Banks, M. S., & Crowell, J. A. (1992). The perception of heading during eye movements. *Nature*, *360*(6404), 583–585. <https://doi.org/10.1038/360583a0>
- Run Portugal. (2018). RunPortugal. Obtido 12 de Maio de 2018, de <https://www.runportugal.com/corridas/9-trail-de-conimbriga-terras-de-sico>
- Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., & Hautier, C. (2016). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *European Journal of Sport Science*, *16*(2), 172–181. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1004373>
- Salinas, M. M., Wilken, J. M., & Dingwell, J. B. (2017). How humans use visual optic flow to

- regulate stepping during walking. *Gait & Posture*, 57, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.05.002>
- Sawilowsky, S. S. (2009). New Effect Size Rules of Thumb. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 8(2), 597–599. <https://doi.org/10.22237/jmasm/1257035100>
- Scheer, V., Ramme, K., Reinsberger, C., & Heitkamp, H.-C. (2018). VO2max Testing in Trail Runners: Is There a Specific Exercise Test Protocol? *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/a-0577-4851>
- Schieber, F., & Gilland, J. (2008). Visual Entropy Metric Reveals Differences in Drivers' Eye Gaze Complexity across Variations in Age and Subsidiary Task Load. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52(23), 1883–1887. <https://doi.org/10.1177/154193120805202311>
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82(4), 225–260. <https://doi.org/10.1037/h0076770>
- Schmit, C., Davranche, K., Easthope, C. S., Colson, S. S., Brisswalter, J., & Radel, R. (2015). Pushing to the limits: The dynamics of cognitive control during exhausting exercise. *Neuropsychologia*, 68, 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.006>
- Schöllhorn, W. I., Hegen, P., & Davids, K. (2012). The Nonlinear Nature of Learning - A Differential Learning Approach. *The Open Sports Sciences Journal*, 5(1), 100–112. <https://doi.org/10.2174/1875399X01205010100>
- Schöllhorn, W. I., Mayer-Kress, G., Newell, K., & Michelbrink, M. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human Movement Science*, 28(3), 319–333. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.10.005>
- Schütte, K. H., Aeles, J., De Beéck, T. O., van der Zwaard, B. C., Venter, R., & Vanwanseele, B. (2016). Surface effects on dynamic stability and loading during outdoor running using wireless trunk accelerometry. *Gait & Posture*, 48, 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.05.017>
- Schutz, A. C., Braun, D. I., & Gegenfurtner, K. R. (2011). Eye movements and perception: A selective review. *Journal of Vision*, 11(5), 9–9. <https://doi.org/10.1167/11.5.9>

- Seifert, L., Araújo, D., Komar, J., & Davids, K. (2017). Understanding constraints on sport performance from the complexity sciences paradigm: An ecological dynamics framework. *Human Movement Science*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.05.001>
- Seifert, L., Boulanger, J., Orth, D., & Davids, K. (2015). Environmental Design Shapes Perceptual-motor Exploration, Learning, and Transfer in Climbing. *Frontiers in Psychology*, 6, 1819. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01819>
- Seifert, L., Button, C., & Davids, K. (2013). Key Properties of Expert Movement Systems in Sport. *Sports Medicine*, 43(3), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0011-z>
- Seifert, L., & Davids, K. (2017). Ecological Dynamics: A Theoretical Framework for Understanding Sport Performance, Physical Education and Physical Activity (pp. 29–40). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45901-1_3
- Sheridan, H., & Reingold, E. M. (2014). Expert vs. novice differences in the detection of relevant information during a chess game: evidence from eye movements. *Frontiers in psychology*, 5, 941. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00941>
- Shiferaw, B. A., Downey, L. A., Westlake, J., Stevens, B., Rajaratnam, S. M. W., Berlowitz, D. J., ... Howard, M. E. (2018). Stationary gaze entropy predicts lane departure events in sleep-deprived drivers. *Scientific Reports*, 8(1), 2220. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20588-7>
- Singh, H., & Singh, J. (2012). Human Eye Tracking and Related Issues: A Review. *Ijsrp.Org*, 2(9), 1–9.
- Smid, K. A., & Den Otter, A. R. (2013). Why you need to look where you step for precise foot placement: The effects of gaze eccentricity on stepping errors. *Gait and Posture*, 38(2), 242–246. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.11.019>
- Smith, B. A., Stergiou, N., & Ulrich, B. D. (2010). Lyapunov Exponent and Surrogation Analysis of Patterns of Variability: Profiles in New Walkers with and Without Down Syndrome. *Motor Control*, 14(1), 126–142. <https://doi.org/10.1123/mcj.14.1.126>
- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Medicine and*

- Science in Sports and Exercise*, 48(2), 267–276.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000762>
- Smith, M. R., Marcora, S., & Coutts, A. J. (2015). Mental fatigue impairs intermittent running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(8), 1682–1690. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000592>
- Sprague, N., Ballard, D., & Robinson, A. (2007). Modeling embodied visual behaviors. *ACM Transactions on Applied Perception*, 4(2), 11–es. <https://doi.org/10.1145/1265957.1265960>
- Stachowski, A., & Szydd Lowski, M. (2016). Dynamical system approach to running Λ cosmological models.
- Stan, C., Astefanoaei, C., Pretegianni, E., Optican, L., Creanga, D., Rufa, A., & Cristescu, C. P. (2014). Nonlinear analysis of saccade speed fluctuations during combined action and perception tasks. *Journal of neuroscience methods*, 232, 102–9. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.05.010>
- Stergiou, N. (2016). *Nonlinear analysis for human movement variability*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: is there a connection? *Human movement science*, 30(5), 869–88. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.06.002>
- Stergiou, N., Jensen, J. L., Bates, B. T., Scholten, S. D., & Tzetzis, G. (2001). A dynamical systems investigation of lower extremity coordination during running over obstacles. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 16(3), 213–21.
- Sternad, D. (2000). Debates in dynamics: A dynamical systems perspective on action and perception. *Human Movement Science*, 19, 407–423.
- Sterzing, T., Apps, C., Ding, R., & Cheung, J. (2014). Walking on an unpredictable irregular surface changes lower limb biomechanics and subjective perception compared to walking on a regular surface. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7(Suppl 1), A81. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-7-S1-A81>
- Suarez, V., Campo, D., & Gonzalez-Rave, J. (2011). Modifications to body composition

after running an alpine marathon: brief clinical report. *International SportMed Journal*, 12(3), 133–140.

t' Hart, B., & Einhäuser, W. (2012). Mind the step: complementary effects of an implicit task on eye and head movements in real-life gaze allocation. *Experimental Brain Research*, 223(2), 233–249. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3254-x>

Tam, N., Nolte, H. W., & Noakes, T. D. (2011). Changes in Total Body Water Content During Running Races of 21.1 km and 56 km in Athletes Drinking Ad libitum. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 21(3), 218–225. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31820eb8d7>

Tani, G., Meira Júnior, C. D. M., Ugrinowitsch, H., Benda, R. N., Chiviacowsky, S., & Corrêa, U. (2010). Pesquisa na área de comportamento motor: Modelos teóricos, métodos de investigação, instrumentos de análise, desafios, tendências e perspectivas. *Revista da Educação Física/UEM*, 21(3), 329–380. <https://doi.org/10.4025/reveducfis.v21i3.9254>

Tate, P. (2009). *Seeley's Principles of Anatomy and Physiology*. New York: McGraw-Hill.

Tatler, B. W., Hayhoe, M., Land, M., & Ballard, D. (2011). Eye guidance in natural vision: Reinterpreting salience. *Journal of Vision*, 11(5), 1–23. <https://doi.org/10.1167/11.5.5>

Tien, T., Pucher, P., Sodergren, M., Sriskandarajah, K., Yang, G., & Darzi, A. (2014). Eye tracking for skills assessment and training: a systematic review. *Journal of Surgical Research*, 191(1), 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.04.032>

Tong, M. H., Zohar, O., & Hayhoe, M. (2017). Control of gaze while walking: Task structure, reward, and uncertainty. *Journal of vision*, 17(1), 28. <https://doi.org/10.1167/17.1.28>

Turano, K. A., Yu, D., Hao, L., & Hicks, J. C. (2005). Optic-flow and egocentric-direction strategies in walking: Central vs peripheral visual field. *Vision Research*, 45(25–26), 3117–3132. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.06.017>

Turvey, M. T. (1990). Coordination. *The American psychologist*, 45(8), 938–53.

Turvey, M. T., & Carello, C. (1996). Dynamics of Bernstein's Level of Synergies. Em M.

- Latash & M. Turvey (Eds.), *Dexterity and its development* (pp. 339–376). London: Psychology Press.
- Turvey, M. T., & Shaw, R. E. (1999). Ecological foundations of cognition. I: Symmetry and specificity of animal-environment systems. *Journal of Consciousness Studies*, 6(11–12), 95–110.
- Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>
- van Emmerik, R. E. A., Ducharme, S. W., Amado, A. C., & Hamill, J. (2016, Março). Comparing dynamical systems concepts and techniques for biomechanical analysis. *Journal of Sport and Health Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.01.013>
- Vansteenkiste, P., Cardon, G., Philippaerts, R., & Lenoir, M. (2015). Measuring dwell time percentage from head-mounted eye-tracking data – comparison of a frame-by-frame and a fixation-by-fixation analysis. *Ergonomics*, 58(5), 712–721. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.990524>
- Vansteenkiste, P., Zeuwts, L., van Maarseveen, M., Cardon, G., Savelsbergh, G., & Lenoir, M. (2017). The implications of low quality bicycle paths on the gaze behaviour of young learner cyclists. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 48, 52–60. <https://doi.org/10.1016/J.TRF.2017.04.013>
- Vercruyssen, F., Tartaruga, M., Horvais, N., & Brisswalter, J. (2016, Outubro). Effects of Footwear and Fatigue on Running Economy and Biomechanics in Trail Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, pp. 1976–84. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000981>
- Vickers, J. (2009). *Advances in coupling perception and action: the quiet eye as a bidirectional link between gaze, attention, and action*. *Progress in Brain Research* (Vol. 174). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(09\)01322-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(09)01322-3)
- Vickers, J. (2011). Mind over muscle: the role of gaze control, spatial cognition, and the quiet eye in motor expertise. *Cognitive Processing*, 12(3), 219–222. <https://doi.org/10.1007/s10339-011-0411-2>
- Vickers, J. (2016). The Quiet Eye: Origins, Controversies, and Future Directions.

Kinesiology Review, 5(2), 119–128. <https://doi.org/10.1123/kr.2016-0005>

Voloshina, A. S., & Ferris, D. P. (2015). Biomechanics and energetics of running on uneven terrain. *The Journal of experimental biology*, 218, 711–9. <https://doi.org/10.1242/jeb.106518>

Wardrop, B., Hyde, P. N., Lafountain, R., Mcswiney, F. T., Hyde, P. N., Lafountain, R. A., ... Doyle, L. (2017). Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.10.010>

Warren, W. H. (2006). The Dynamics of Perception and Action. *Psychological Review*, 113(2), 358–389. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.113.2.358>

Warren, W. H., & Fajen, B. (2004). From Optic Flow to Laws of Control. In *Optic Flow and Beyond* (pp. 307–337). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2092-6_14

Warren, W. H., & Hannon, D. J. (1988). Direction of self-motion is perceived from optical flow. *Nature*, 336(6195), 162–163. <https://doi.org/10.1038/336162a0>

Warren, W. H., & Hannon, D. J. (1990). Eye movements and optical flow. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and image science*, 7(1), 160–9.

Warren, W. H., Kay, B. A., Zosh, W., Duchon, A., & Sahuc, S. (2001). Optic flow is used to control human walking. *Nature neuroscience*, 4(2), 213–216. <https://doi.org/10.1038/84054>

Warren, W. H., Young, D. S., & Lee, D. N. (1986). Visual control of step length during running over irregular terrain. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12(3), 259–266. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.12.3.259>

Whitall, J., & Getchell, N. (1995). From Walking to Running: Applying a Dynamical Systems Approach to the Development of Locomotor Skills. *Child Development*, 66(5), 1541–1553. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1995.tb00951.x>

Wilkie, R. M., Kountouriotis, G. K., Merat, N., & Wann, J. P. (2010). Using vision to control locomotion: Looking where you want to go. *Experimental Brain Research*, 204(4),

539–547. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2321-4>

- Wilkie, R. M., & Wann, J. (2003). Eye-movements aid the control of locomotion. *Journal of Vision*, *3*, 677–684. <https://doi.org/10.1167/3.11.3>
- Wilkie, R. M., Wann, J. P., & Allison, R. S. (2008). Active Gaze, Visual Look-Ahead, and Locomotor Control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(5), 1150–1164. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.34.5.1150>
- Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. (2005). *Visual Perception and Action in Sport*. New York: London Routledge.
- Williams, A. M., Singer, R. N., & Frehlich, S. G. (2002). Quiet Eye Duration, Expertise, and Task Complexity in Near and Far Aiming Tasks. In *Journal of Motor Behavior* (Vol. 34, pp. 197–207). <https://doi.org/10.1080/00222890209601941>
- Withagen, R., de Poel, H. J., Araújo, D., & Pepping, G. J. (2012). Affordances can invite behavior: Reconsidering the relationship between affordances and agency. *New Ideas in Psychology*, *30*(2), 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2011.12.003>
- Wurtz, R. H. (1998). Optic flow: A brain region devoted to optic flow analysis? *Current Biology*, *8*(16), R554–R556. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(07\)00359-4](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(07)00359-4)
- Yandell, M. B., & Zelik, K. E. (2016). Preferred Barefoot Step Frequency is Influenced by Factors Beyond Minimizing Metabolic Rate. *Scientific reports*, *6*, 23243. <https://doi.org/10.1038/srep23243>
- Yang, C., Bouffard, J., Srinivasan, D., Cantú, H., Ghayourmanesh, S., Begon, M., & Côté, J. N. (2018). Changes in movement variability and task performance during a fatiguing repetitive pointing task. *Journal of Biomechanics*. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.05.025>
- Zadra, J. R., & Proffitt, D. R. (2016). Optic flow is calibrated to walking effort. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(5), 1491–1496. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1017-6>
- Žákovská, A., Knechtle, B., Chlábková, D., Miličková, M., Rosemann, T., & Nikolaidis, P. T. (2017). The Effect of a 100-km Ultra-Marathon under Freezing Conditions on

Selected Immunological and Hematological Parameters. *Frontiers in Physiology*, 8, 638. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00638>

Zargari Marandi, R., Madeleine, P., Omland, O., Vuillerme, N., & Samani, A. (2018). Reliability of Oculometrics During a Mentally Demanding Task in Young and Old Adults. *IEEE Access*, 6, 17500–17517. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2819211>

Zhang, C., Wang, H., & Fu, R. (2014). Automated Detection of Driver Fatigue Based on Entropy and Complexity Measures. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(1), 168–177. <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2275192>

Zhao, Y., Matthis, J., Barton, S., Hayhoe, M., & Sentis, L. (2017). Towards understanding visually guided locomotion over complex and rough terrain: A phase-space planning method. In *Proceedings of IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, ARSO* (pp. 1–3). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ARSO.2017.8025198>

APÊNDICE 1

Declaração de consentimento Informado

CONSENTIMENTO INFORMADO, ESCLARECIDO E LIVRE PARA PARTICIPAÇÃO EM ESTUDOS DE INVESTIGAÇÃO (de acordo com a Declaração de Helsínquia e a Convenção de Oviedo)

Visão e Controlo motor: Influência da Visão no Controlo da Corrida de Trail

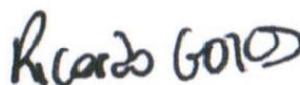
Este estudo realiza-se no âmbito dos trabalhos de Doutoramento em Ciências do Desporto – Ramo de Treino Desportivo. Tem como objetivo compreender melhor os padrões de locomoção em terreno acidentado e analisar a relação entre a perceção/leitura do terreno e as adaptações da corrida ao terreno.

São recolhidas as seguintes medidas: peso, Frequência cardíaca de repouso, concentração de lactato e tempos obtido num teste de atenção distribuída. Será ainda pedido ao participante que responda a um questionário sobre o nível de humor. Em seguida, os participantes irão correr num percurso plano e acidentado, com e sem fadiga, onde serão recolhidas métricas referentes ao padrão de olhar e ao padrão de corrida dos sujeitos-

O protocolo de indução de fadiga consiste numa corrida de trail, em percurso previamente delineado. O percurso é circular, na zona de Anços – vale do Poio, com uma extensão de cerca de 6500m e um desnível positivo acumulado de cerca de 215 metros. A prova consiste em repetir este percurso 4 vezes, perfazendo um total de cerca de 26km e um desnível positivo acumulado de 860 metros, equivalente a uma prova de trail de grau de dificuldade 1 (rácio 2,8). A duração prevista do teste é de cerca de 3h00 min e decorre em Anços, Redinha – Pombal.

É garantida a confidencialidade e uso exclusivo dos dados recolhidos para o presente estudo, sendo os mesmos anónimos. Por favor, leia com atenção a seguinte informação. Se achar que algo está incorreto ou que não está claro, não hesite em solicitar mais informações via email: ringomes@gmail.com ou através do 912528493. Se concorda com a proposta que lhe foi feita, queira assinar este documento.

Coimbra, 21 de julho de 2017



O investigador principal,

Ricardo Gomes

Declaro ter lido e compreendido este documento, bem como as informações verbais que me foram fornecidas pela/s pessoa/s que acima assina/m. Foi-me garantida a possibilidade de, em qualquer altura, recusar participar neste estudo sem qualquer tipo de consequências. Desta forma, aceito participar neste estudo e permito a utilização dos dados que de forma voluntária forneço, confiando em que apenas serão utilizados para esta investigação e nas garantias de confidencialidade e anonimato que me são dadas pelo/a investigador/a.

Nome:

Assinatura:... .. **Data:** /..... /.....

SE NÃO FOR O PRÓPRIO A ASSINAR POR IDADE OU INCAPACIDADE

(se o menor tiver discernimento deve também assinar em cima, se consentir)

NOME:

BI/CC N.º: **DATA OU VALIDADE** /..... /.....

GRAU DE PARENTESCO OU TIPO DE REPRESENTAÇÃO:

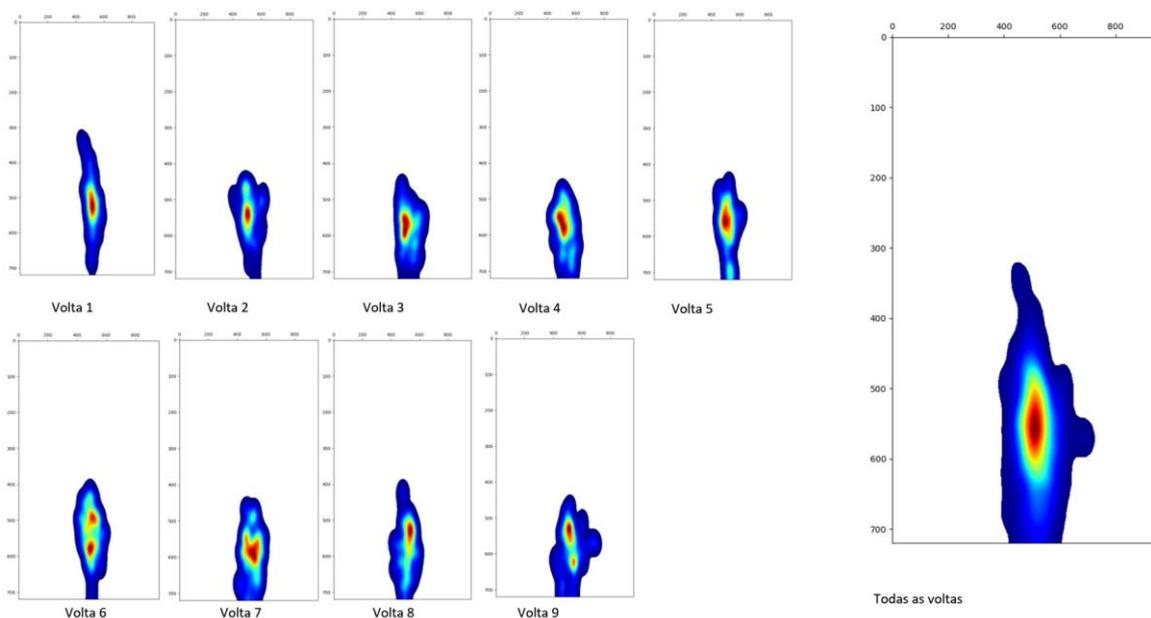
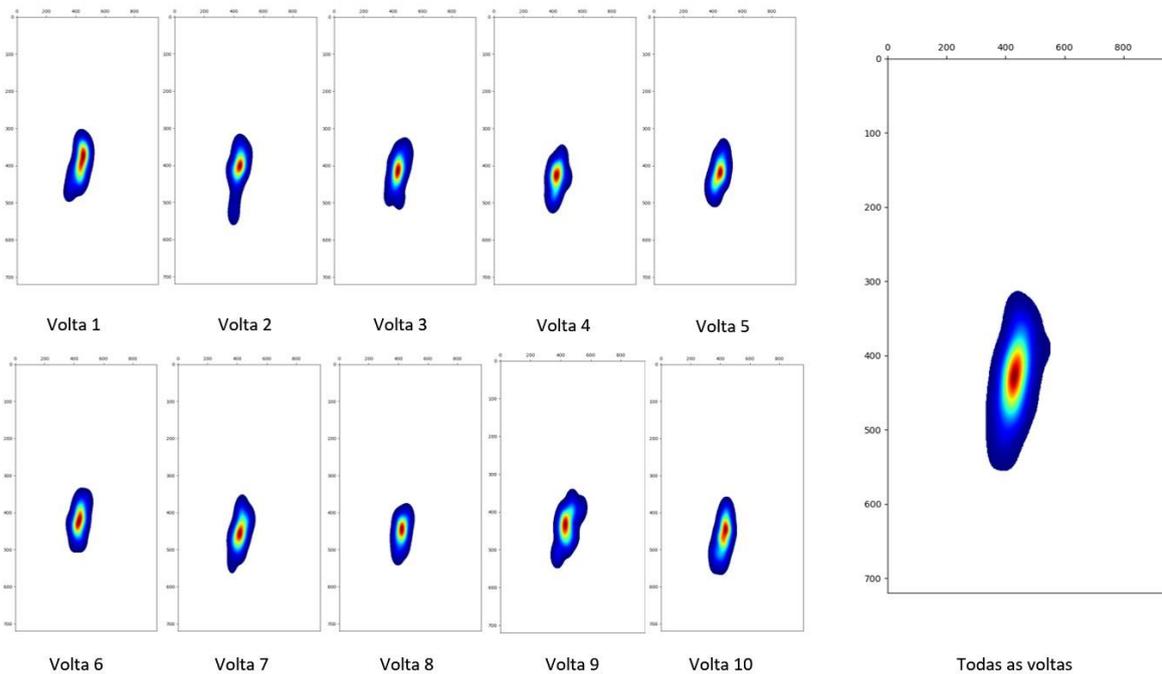
ASSINATURA

ESTE DOCUMENTO É COMPOSTO DE 2 PÁGINA /S E FEITO EM DUPLICADO : UMA VIA PARA O /A INVESTIGADOR /A , OUTRA PARA A PESSOA QUE CONSENTE

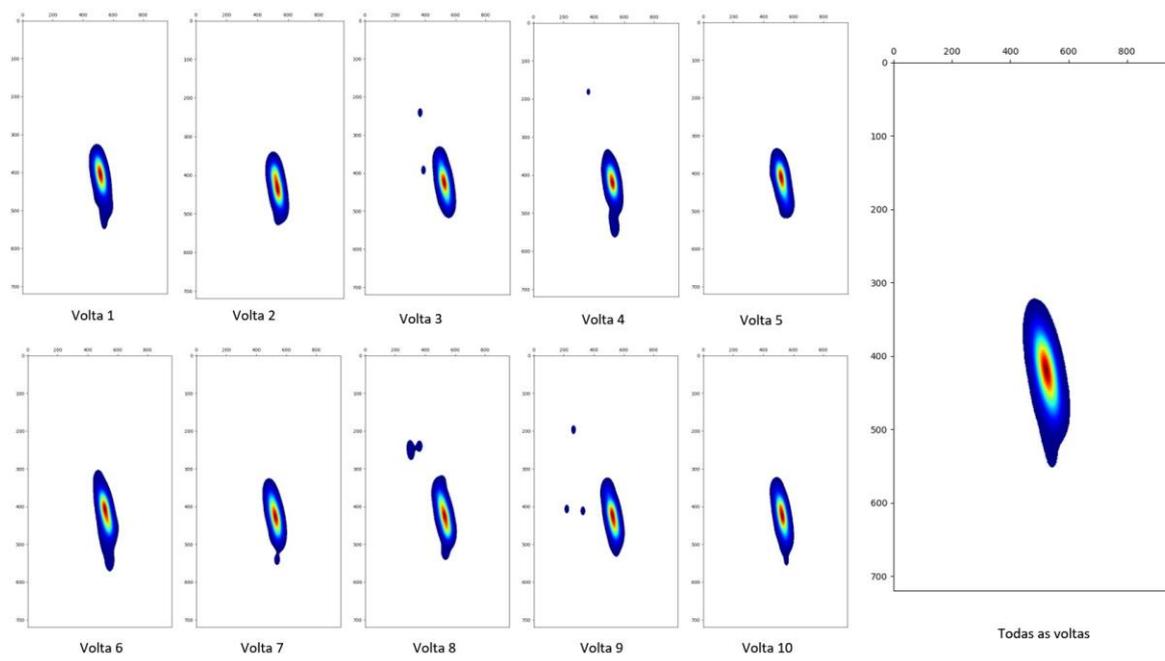
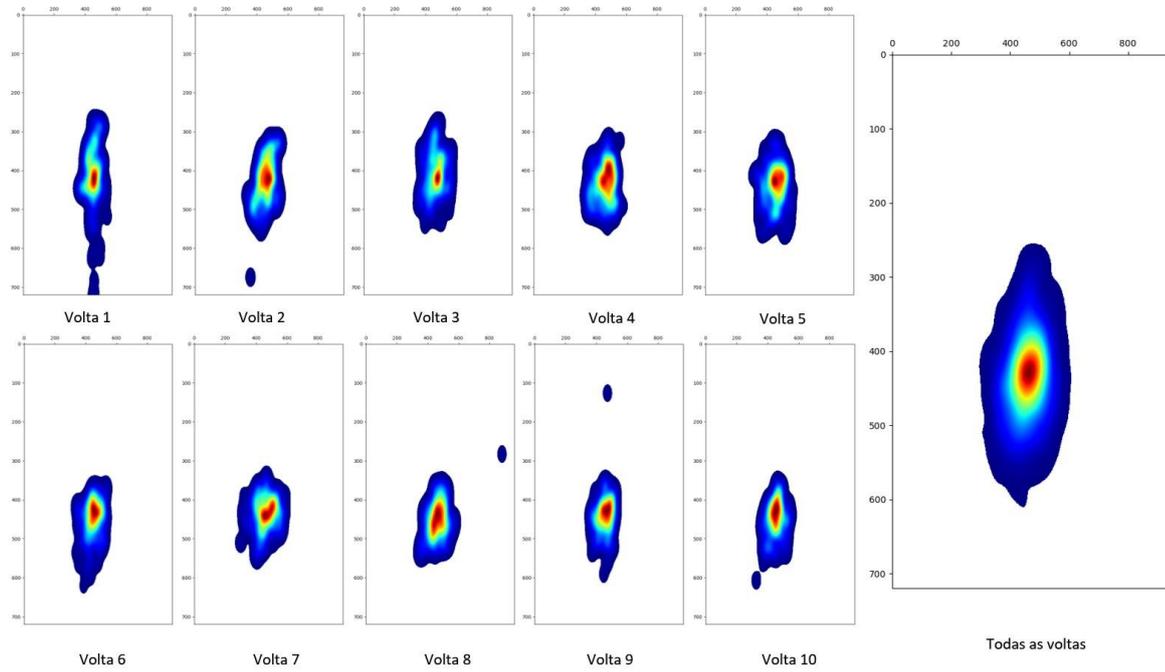
APÊNDICE 2

Heat Maps referentes aos movimentos sacádicos dos participantes no espaço visual

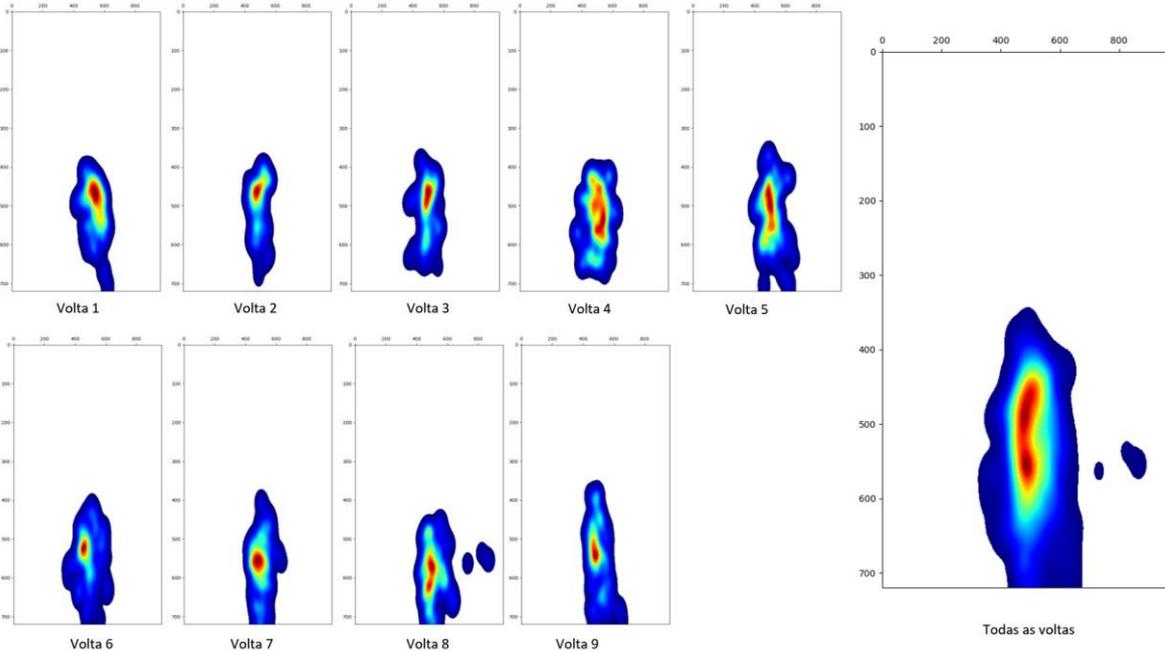
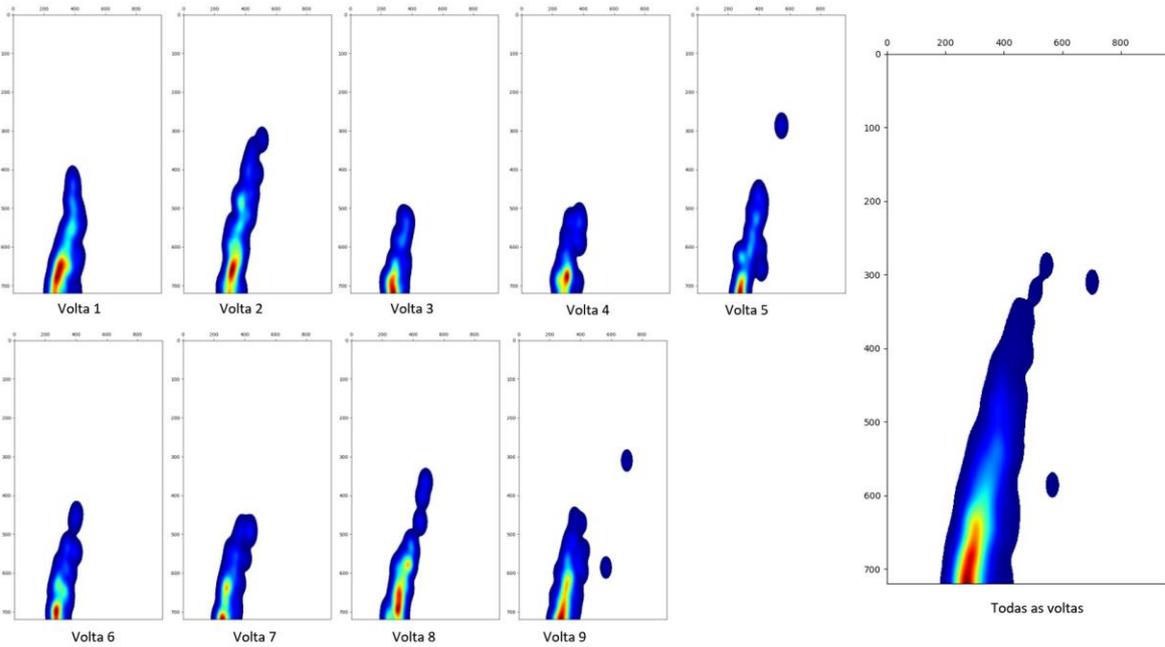
Participante nº1 – Não expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



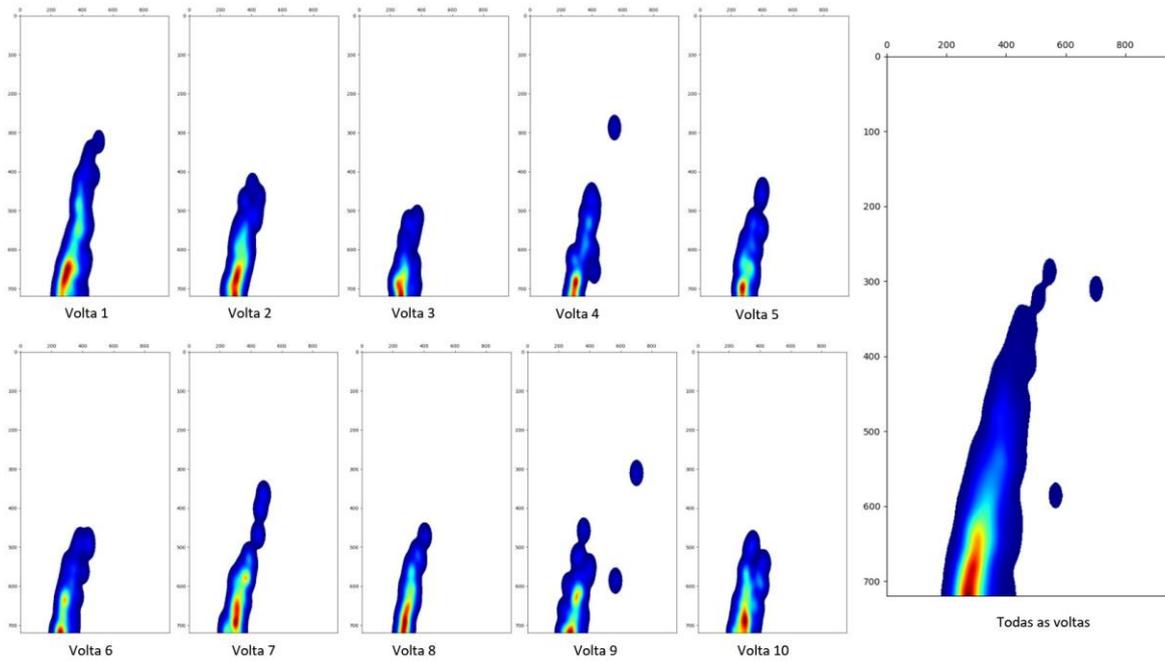
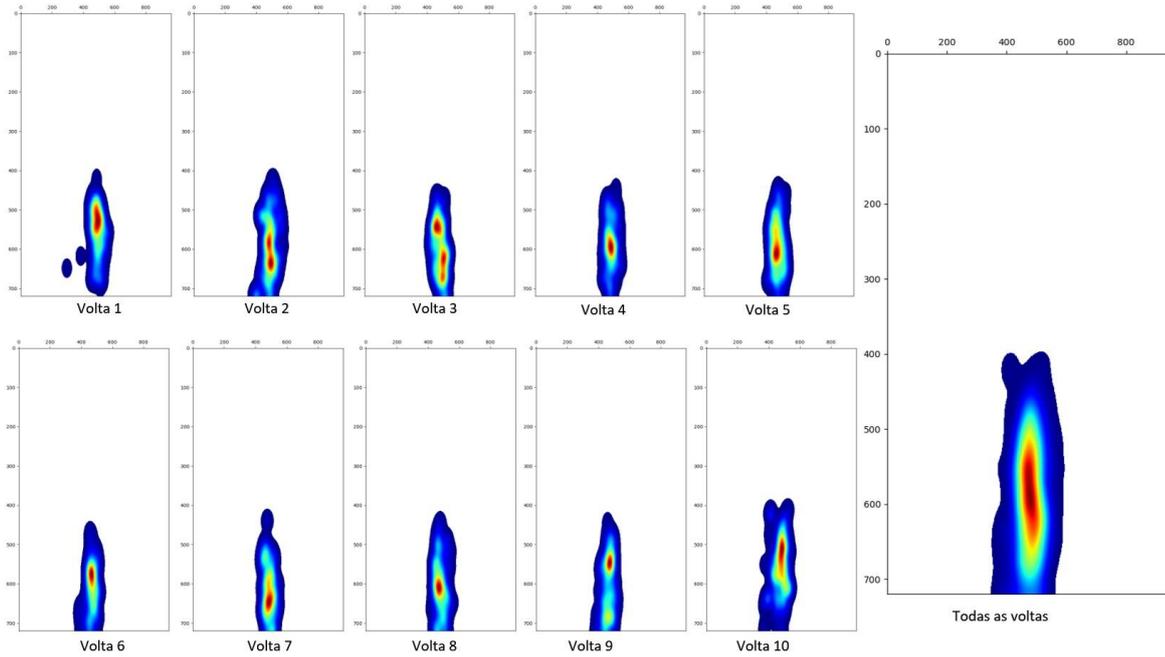
Participante n^o2 – Não expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



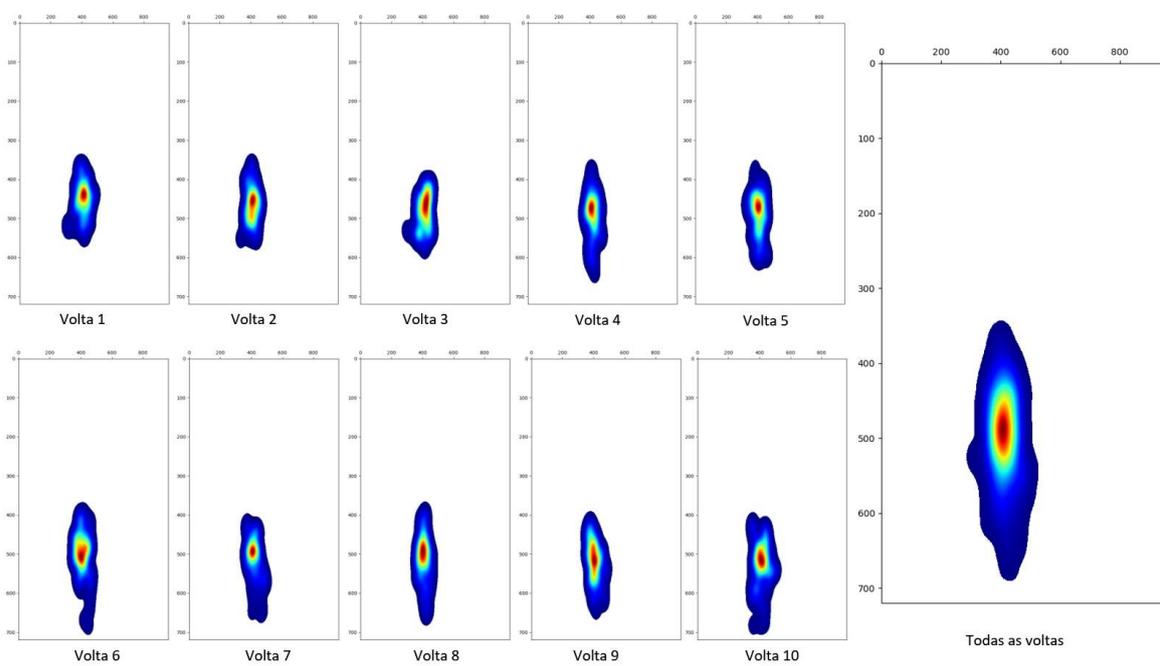
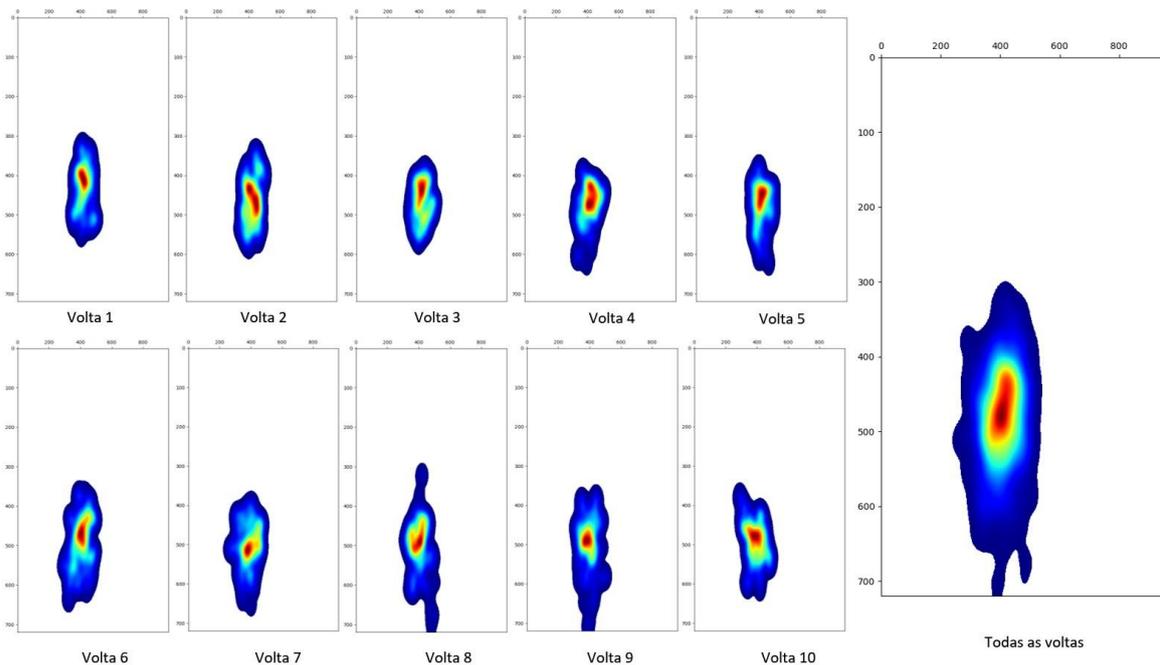
Participante nº3 – Não expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



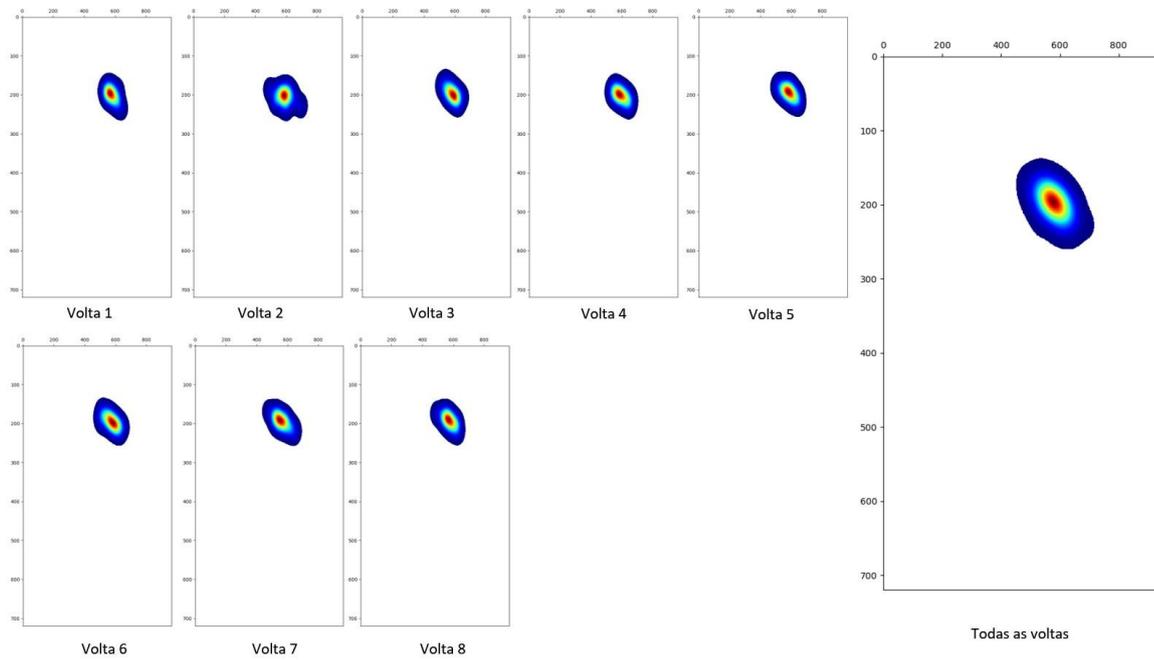
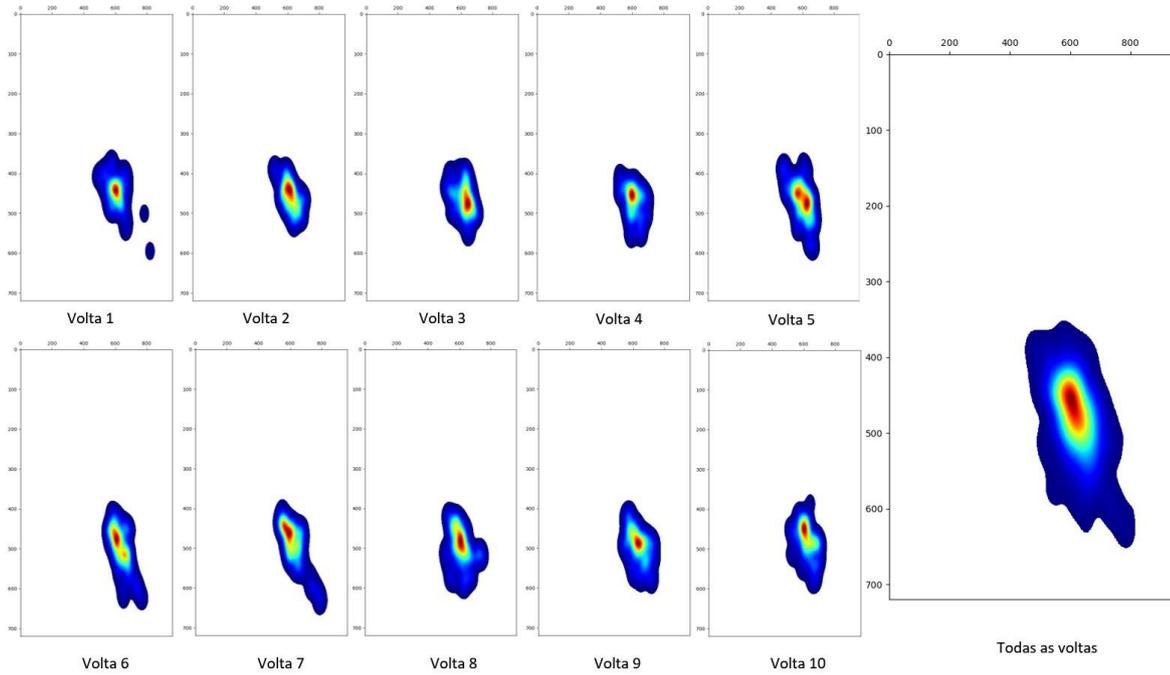
Participante nº4 – Não expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



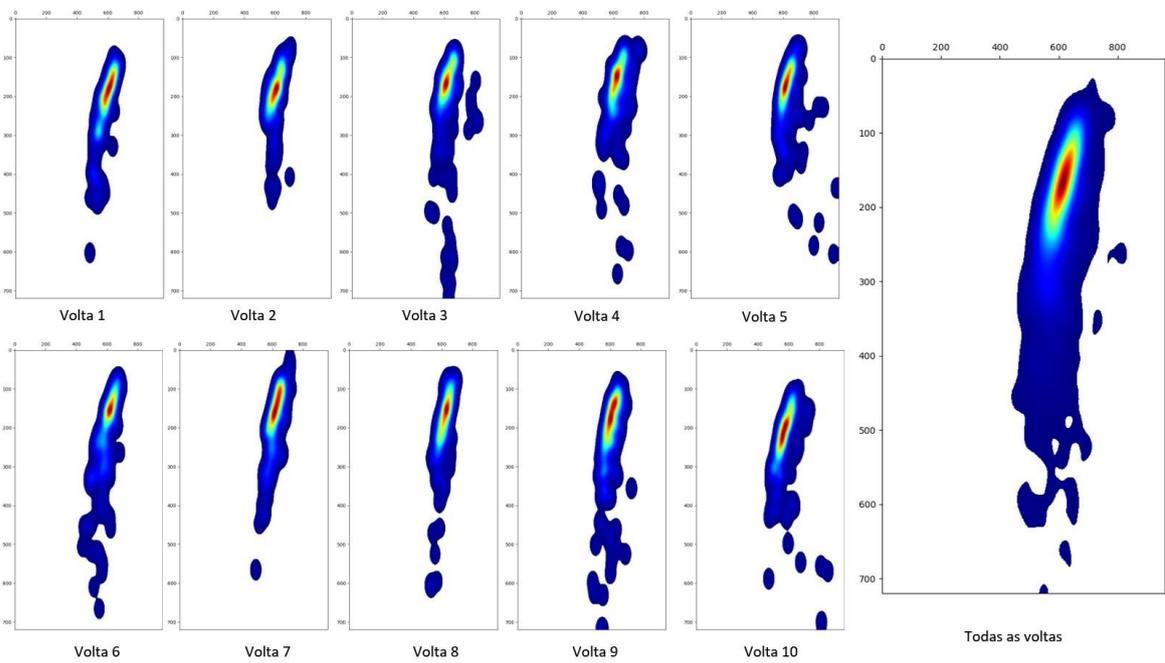
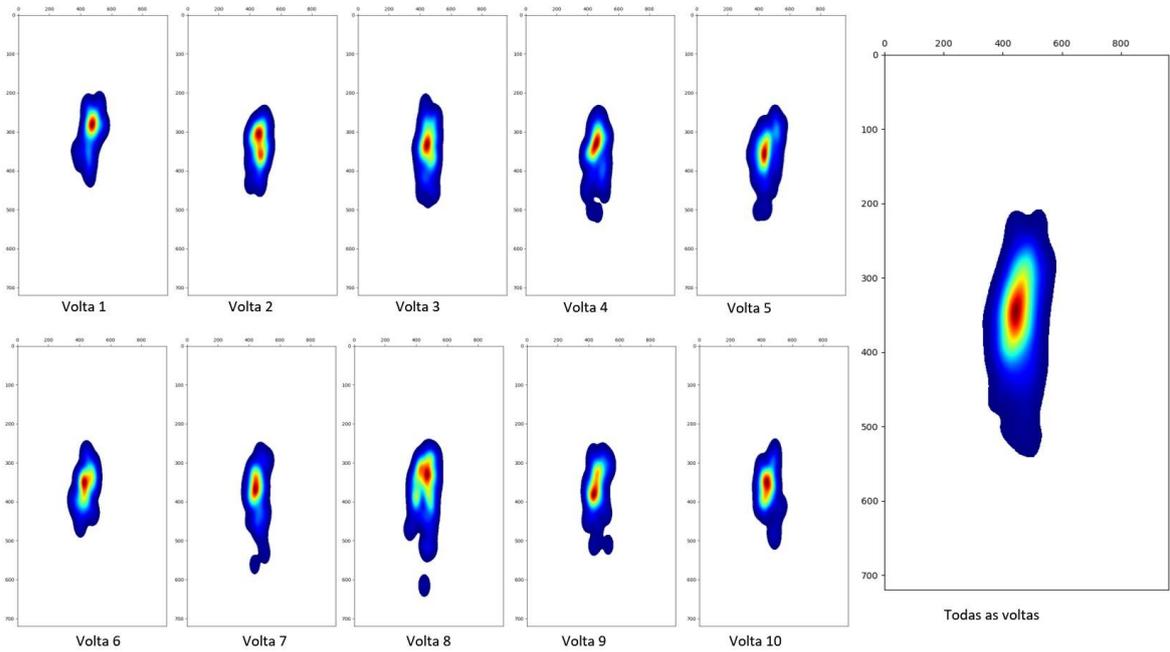
Participante nº6 – Não expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



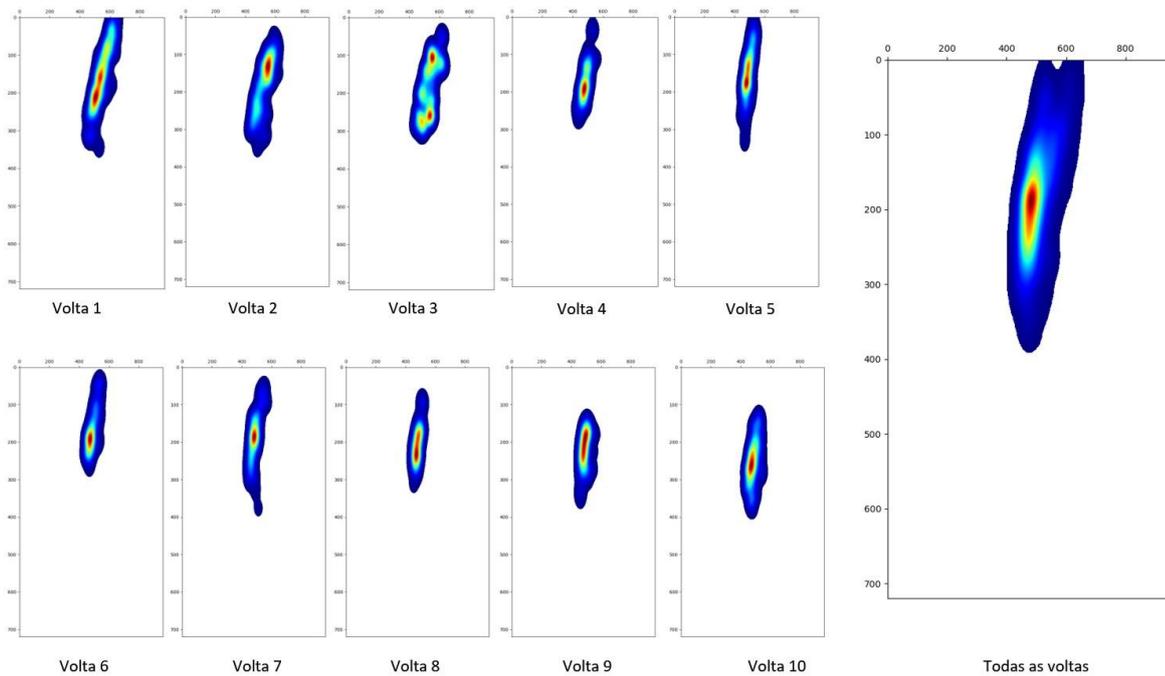
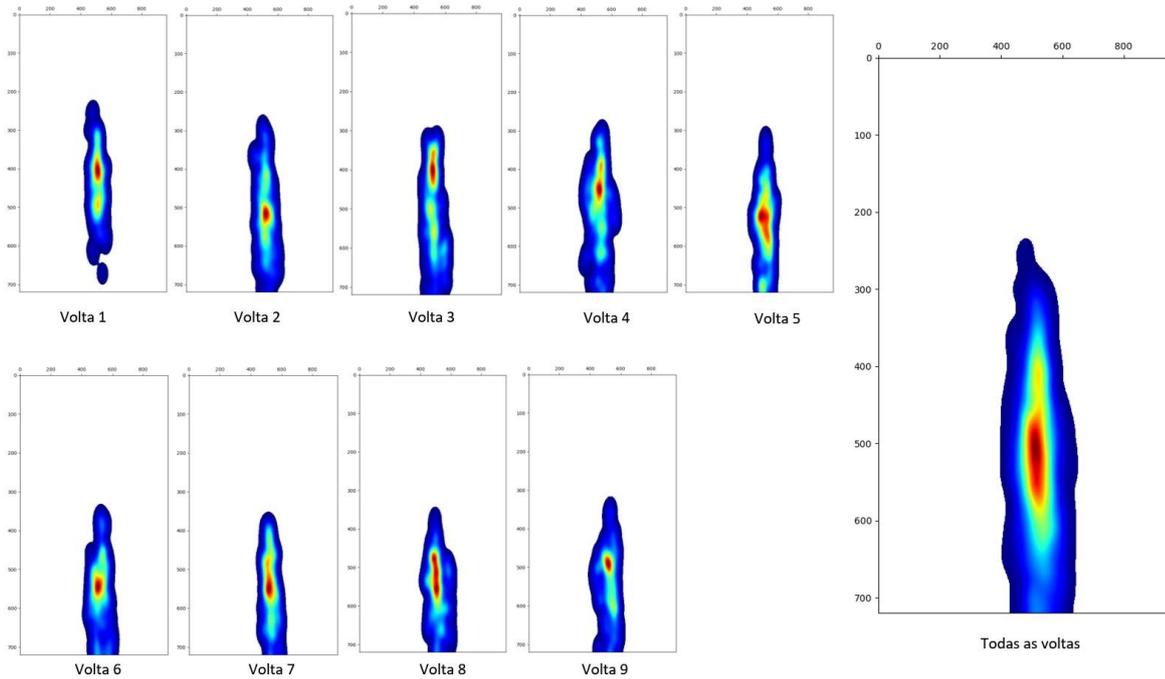
Participante nº7 – Não expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



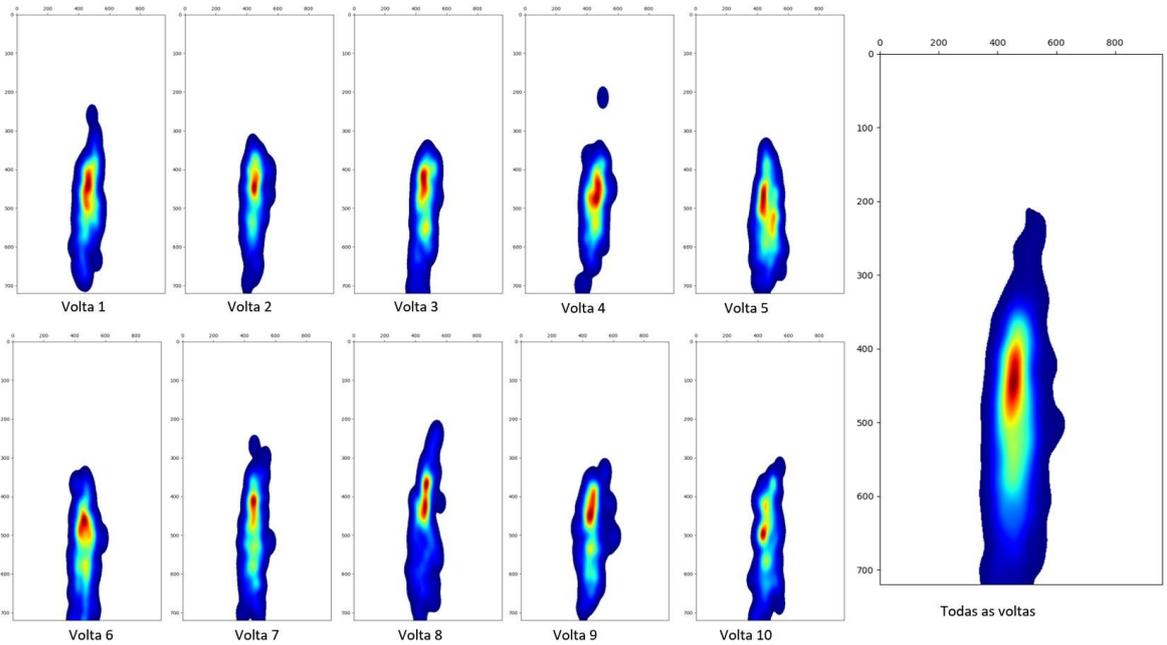
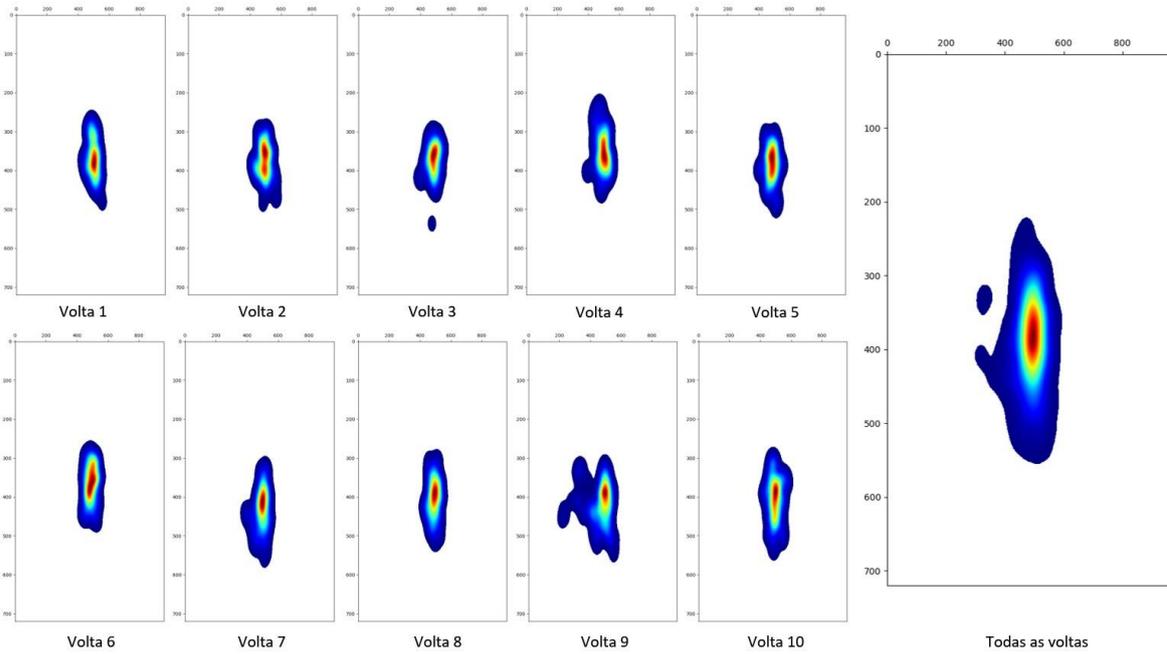
Participante nº8 – Expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



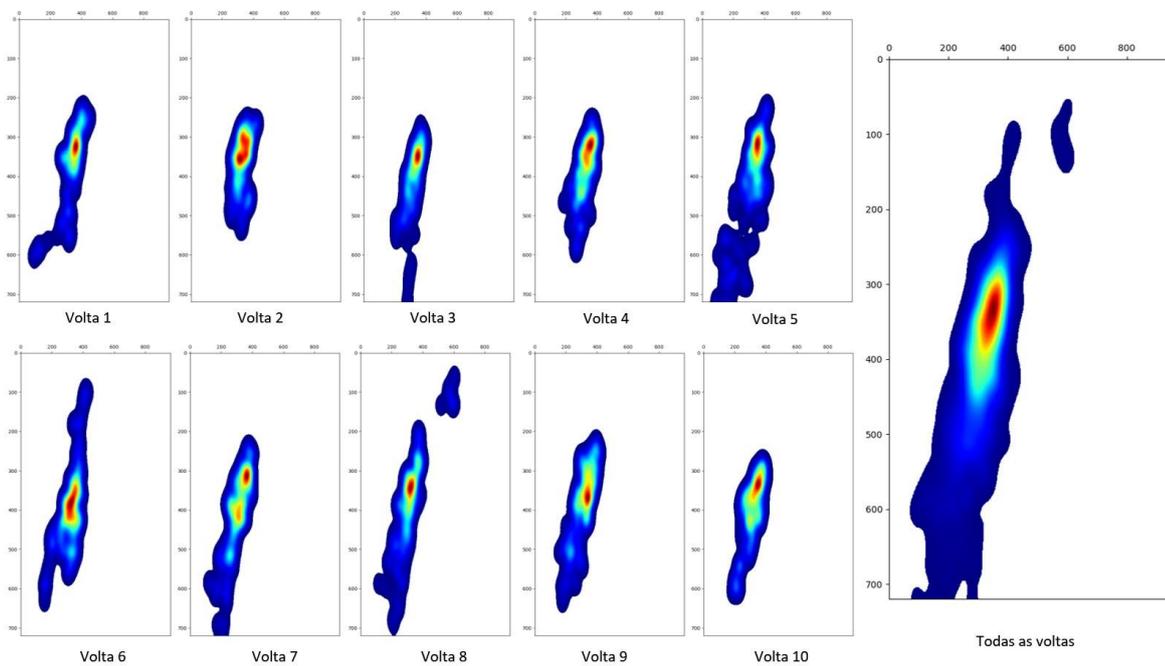
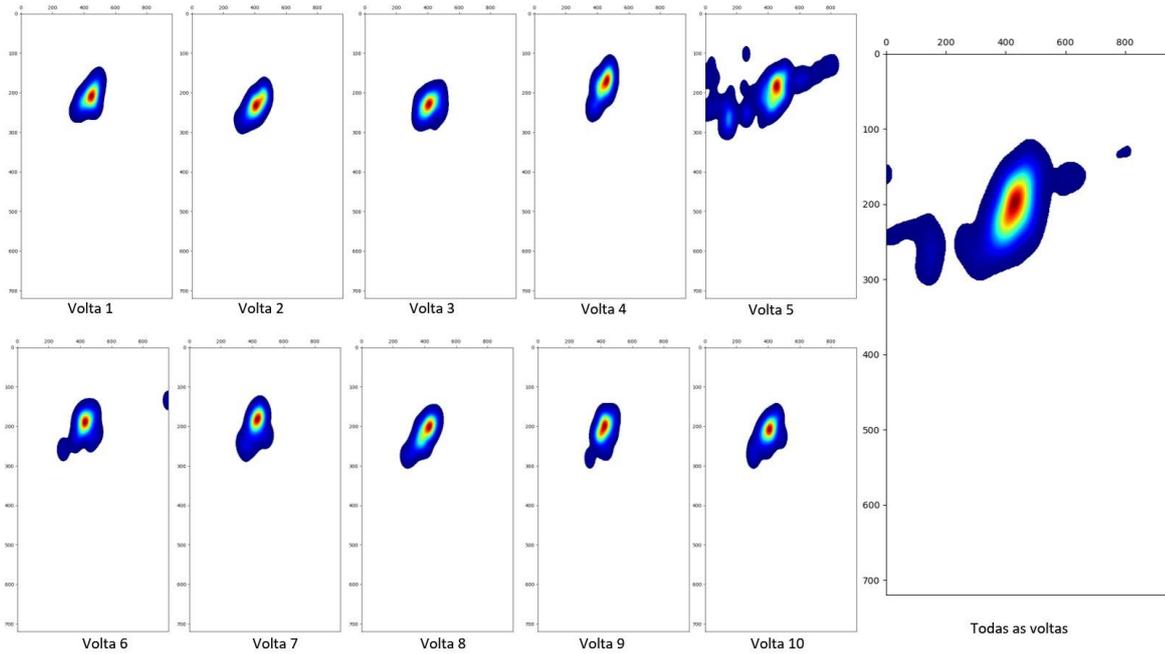
Participante nº9 – Expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



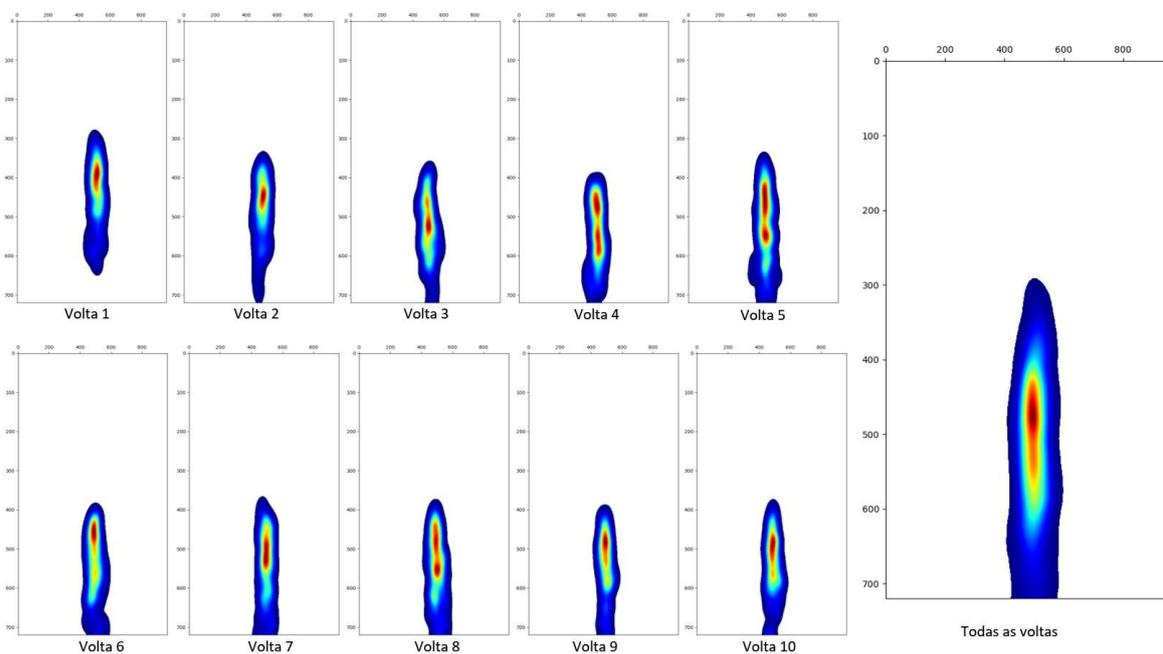
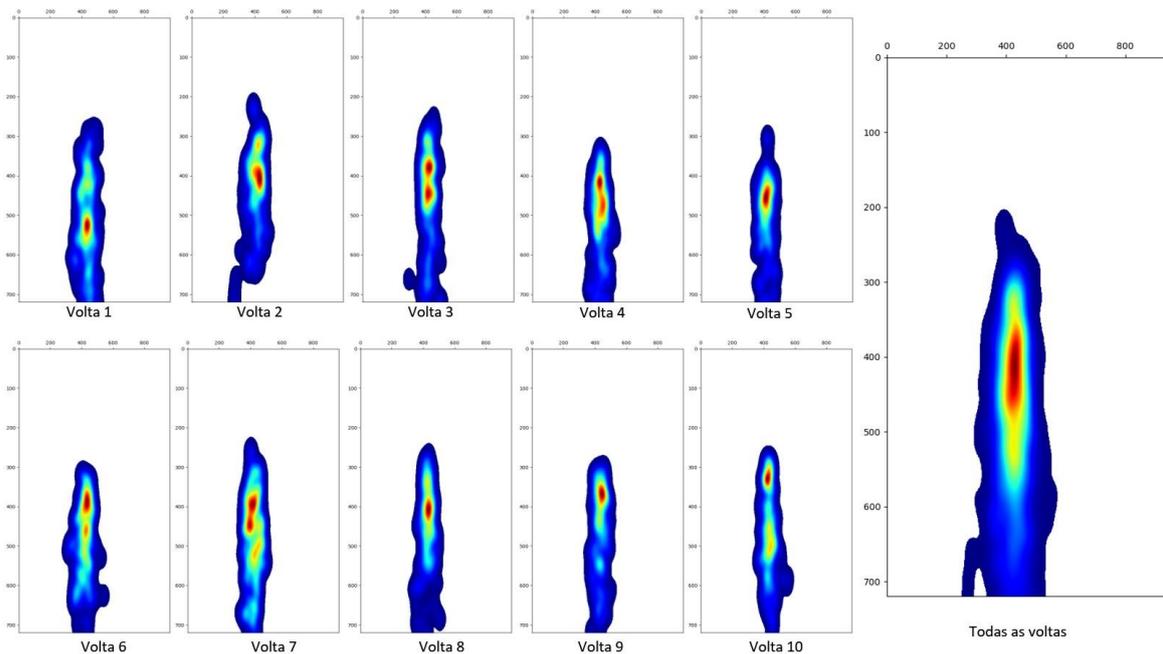
Participante nº10 – Expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



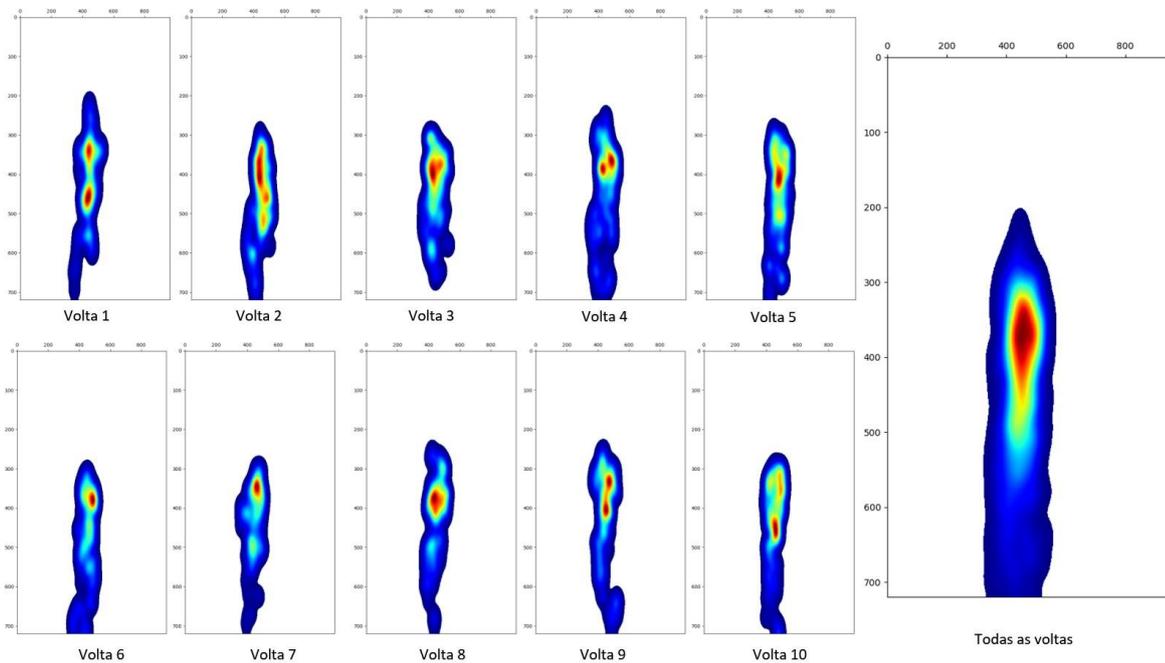
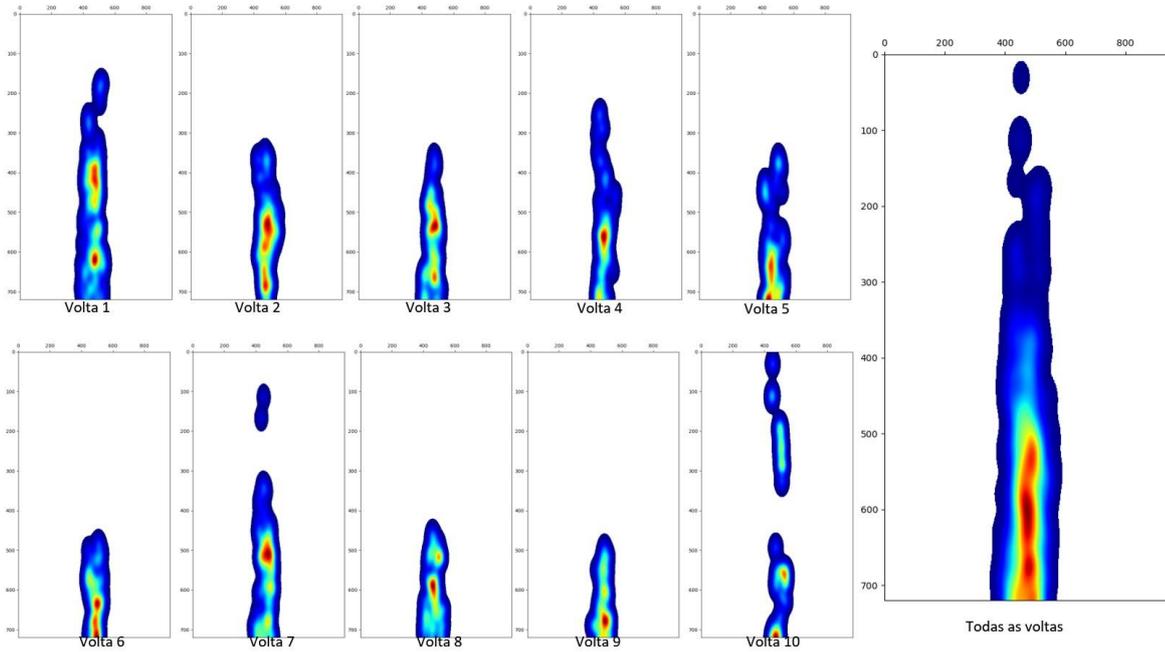
Participante nº11 – Expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



Participante nº12 – Expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



Participante nº13 – Expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga



Participante nº15 – Expert: Padrões de distribuição dos movimentos sacádicos em repouso e em fadiga

