
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE

**EFEITOS DO ENVELHECIMENTO NA ATIVIDADE DO CÓRTEX CEREBRAL
DURANTE O ANDAR USUAL, ADAPTATIVO E COM TAREFA DUPLA**

PRISCILA NÓBREGA DE SOUSA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Meste em Ciências da Motricidade.

Julho - 2019

Priscila Nóbrega de Sousa

Efeitos do envelhecimento na atividade do córtex cerebral durante o andar usual, adaptativo e com tarefa dupla

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Motricidade.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Vitório

Coorientadora: Profa. Dra. Lilian Teresa Bucken Gobbi

**Rio Claro
2019**

N754e Nóbrega-Sousa, Priscila
Efeitos do envelhecimento na atividade do córtex cerebral durante o andar usual, adaptativo e com tarefa dupla / Priscila Nóbrega-Sousa. -- Rio Claro, 2019
61 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientador: Rodrigo Vítório
Coorientadora: Lilian Teresa Bucken Gobbi

1. Envelhecimento. 2. Locomoção. 3. Córtex pré-frontal. 4. Cognição. 5. Neuroimagem. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Rio Claro



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeitos do envelhecimento na atividade do córtex cerebral durante o andar usual, adaptativo e com tarefa dupla

AUTORA: PRISCILA NOBREGA DE SOUSA

ORIENTADOR: RODRIGO VITORIO

COORIENTADORA: LILIAN TERESA BUCKEN GOBBI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE , área: Biodinâmica da Motricidade Humana pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RODRIGO VITORIO

Docente credenciado no Programa de Ciências da Motricidade / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Prof. Dr. FABIO AUGUSTO BARBIERI

Departamento de Educação Física / UNESP - Faculdade de Ciências de Bauru - SP

Profa. Dra. MARIA JOANA DUARTE CAETANO

Prefeitura Municipal de São Carlos / - SP

Rio Claro, 26 de julho de 2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por tudo que tem realizado na minha vida, especialmente por ter me guiado na minha trajetória profissional e me ajudado a superar muitos desafios.

Aos meus pais, Marto e Cecília, que sempre me incentivaram a estudar e buscar meus objetivos, independente da área ou caminho de minha escolha. Todo o amor, carinho, apoio e confiança eu recebi de vocês durante toda a minha vida, e sou extremamente agradecida por isso. Vocês realmente são uma inspiração de vida para mim por toda a batalha que enfrentaram e por terem conseguido chegar onde estão hoje. Amo muito vocês!

Aos meus irmãos, Kátia, Eduardo e Davi, que sempre foram parceiros em todos os momentos, tanto divertidos com brincadeiras que até hoje fazemos, como tristes envolvendo dificuldades, doença e luto. Independente do momento, sempre nos apoiamos emocionalmente e sei que posso confiar em cada um de vocês para o que eu precisar. Amo muito vocês!

Ao meu namorado, Samuel, que me atura há 7 anos com todas as minha paranoias e inseguranças. Mesmo passando por muitos períodos turbulentos no nosso relacionamento, que foram necessários para o nosso crescimento e amadurecimento, hoje sou muito agradecida por todo o amor, respeito, carinho e companheirismo que conseguimos alcançar. Obrigada por ser essa pessoa especial, que me inspira com toda essa sua personalidade, em minha vida. Agradeço também por estar ao meu lado em todos os momentos, especialmente em minhas conquistas, sendo paciente nos momentos em que precisei de tempo para estudar. Te amo!

Ao meu orientador, Rodrigo Vítório, pela oportunidade que me ofereceu, por todo o ensinamento, pela enorme paciência, e por todo apoio e confiança, principalmente acreditando no meu potencial e me ajudando a não desistir, com todo o apoio emocional que você também me deu. Obrigada por ser esse orientador incrível, e além de tudo um “pai” e amigo que sempre me ajudou a evoluir na vida profissional e celebrou cada mínima conquista junto comigo e uma boa cerveja. Espero que você continue sendo esse excelente profissional e seja muito feliz nessa nova fase de sua vida. Muito obrigada por tudo!

À minha coorientadora, Lilian Gobbi, que também foi minha orientadora de iniciação científica e que me aceitou no LEPLo desde o meu primeiro ano na UNESP. Sou extremamente grata pela oportunidade de poder fazer parte deste laboratório e aprender tanto com você e outros membros do laboratório. Foram seis anos de muito aprendizado, responsabilidades, e muitas experiências que levarei para o resto da minha vida.

À todos os membros do LEPLO por todos esses anos de convivência, em especial a Núbia, que foi amiga de graduação, laboratório e mestrado. Mesmo sendo completamente diferentes, conseguimos ter uma amizade tão grande que as pessoas já nos deixavam sempre juntas para qualquer situação. Muito obrigada por me bater e gritar em momentos que precisava de alguém para me colocar no meu lugar, por todos os trabalhos juntas, por fazer o meu papel, sem eu ter que pedir, em momentos em que tinha que me expor (rs), por me ajudar nas infinitas coletas, pelos momentos de descontrações nos bares, cafeterias, sorveterias, churros, e tudo que envolvia comida, por todas risadas e conversas, e principalmente por todo o apoio emocional que você me deu em todo o período. Você é fera! Gostaria de agradecer ao Jet e Peixe pela disponibilidade em me ajudar a qualquer hora desde a iniciação científica, tanto para coletas, análises e artigos como para risadas, conversas e conselhos. Agradeço também à Ellen, que além de amiga se tornou basicamente a minha “mãe”, por toda a ajuda, confiança, risadas, conselhos, e saídas para comer. Ao PC, que mesmo de longe, sempre se disponibilizou em me ajudar durante o mestrado, e também pelas conversas e brincadeiras. Ao Diego, pela amizade e comidas típicas colombianas que preparou, pelos nossos jogos de tênis, e por todas conversas e risadas. À todos os meus amigos da UNESP, que me ajudaram e fizeram parte de toda uma trajetória. Agradeço a minhas amigas, Juliana e Beatriz, que desde a quinta série me incentivaram e apoiaram em toda a minha vida, com conselhos, conversas eternas e boas risadas.

Ao PROPARKI, por oferecer a oportunidade de aprendizado e experiência no desenvolvimento de atividade física para os pacientes com doença de Parkinson, e pela possibilidade de troca de experiências diretamente com os pacientes.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/ n° processo: 166467/2017-0) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP/ n° processo: 2016/21499-1), pelo apoio financeiro.

RESUMO

Introdução: Apesar dos correlatos neurais dos comprometimentos do andar associados ao envelhecimento não serem completamente compreendidos, estudos recentes apontam que idosos apresentam maior ativação do córtex pré-frontal (via indireta) durante o andar. Entretanto, os estudos existentes não consideram o processo de envelhecimento em um espectro mais amplo e, ao contrário, apresentam comparações limitadas a extremos de idade (adulto jovem X idoso). A compreensão da atividade neural do controle do andar no envelhecimento é importante para a identificação do momento em que as alterações inerentes ao envelhecimento afetam a atividade do córtex cerebral. Assim os objetivos deste estudo foram: (i) investigar os efeitos do envelhecimento na atividade do córtex pré-frontal (CPF) durante o andar usual, adaptativo e com tarefa dupla; e (ii) analisar a associação entre a atividade cortical e medidas do andar e de funções cognitivas. **Materiais e Método:** Noventa participantes foram avaliados, sendo 15 participantes saudáveis em cada grupo etário: 20-25, 30-35, 40-45, 50-55, 60-65 e 70-75 anos. Foram realizadas avaliações cognitivas, do andar e da atividade do CPF. Um sistema portátil de espectroscopia funcional de luz próxima ao infravermelho foi utilizado para o registro da atividade do CPF enquanto os participantes andavam em um circuito em três condições: andar usual, adaptativo (ultrapassagem de obstáculos) e com tarefa dupla. Um tapete com sensores de pressão foi posicionado em uma das retas do circuito para o registro dos parâmetros espaço-temporais do andar. ANCOVAs foram empregadas para analisar as diferenças nas concentrações de oxihemoglobina entre os grupos e condições, controlando pela velocidade do andar usual; ANOVAs two-way foram utilizadas para analisar as diferenças dos parâmetros do andar e do desempenho na tarefa cognitiva; e testes de correlação de Pearson foram aplicados para analisar a associação entre as medidas da atividade cortical, do andar e de funções cognitivas. **Resultados:** A atividade do CPF aumentou de maneira crescente entre os grupos etários, com algumas particularidades para cada condição do andar. O grupo G60 apresentou maior ativação do CPF em comparação com o grupo G30 no andar usual. Os grupos G50 e G60 apresentaram maior ativação do CPF em comparação com o grupo G20 no andar adaptativo. Os grupos G30, G50, G60 e G70 apresentaram maior ativação do CPF em comparação com o grupo G20 no andar com tarefa dupla. O grupo G70 apresentou pior desempenho cognitivo e do andar em comparação com os outros grupos. Ainda, a maior ativação do CPF foi correlacionada com pior performance do andar e pior função cognitiva (função executiva). **Conclusão:** O processo de envelhecimento provoca aumento gradativo da participação da via indireta no controle do andar e este aumento é influenciado pela tarefa locomotora realizada. Ainda, a ativação do CPF como mecanismo compensatório se torna ineficiente a partir da sétima década de vida. Esta ineficiência pode estar associada com comprometimentos da função executiva, que estão mais exacerbados nos indivíduos do grupo G70. De maneira geral, a menor ativação do córtex pré-frontal está relacionada com melhor performance do andar e melhor função executiva.

Palavras-chave: Envelhecimento. Locomoção. fNIRS. Córtex pré-frontal.

ABSTRACT

Introduction: Although the neural correlates of walking impairments associated with aging are not fully understood, recent studies indicate that the older adults present greater activation of the prefrontal cortex during walking. However, existing studies do not consider the aging process in a broader spectrum and, on the contrary, present limited comparisons to extremes of age (younger X older adult). Understanding the neural activity of walking control in aging is important to identify when the inherent changes in aging affect the activity of the cerebral cortex. Thus, the aims of this study were: (i) to investigate the effects of aging on the activity of the prefrontal cortex (PFC) during usual, adaptive and dual task walking; and (ii) to analyze the association of cortical activity with walk measures and cognitive functions. **Materials and Methods:** Ninety participants were evaluated, with 15 healthy participants in each age group: 20-25, 30-35, 40-45, 50-55, 60-65 and 70-75 years. Cognitive, walking and PFC activity assessments were performed. A portable near infrared functional spectroscopy system was used to record PFC activity while participants walked on a circuit in three conditions: usual, adaptive (obstacle avoidance) and dual task walking. A carpet with pressure sensors was positioned in one of the straight lines of the circuit to record walk parameters. ANCOVAs were used to analyze differences in oxyhemoglobin concentrations between groups and conditions; Two-way ANOVAs were used to analyze differences in walking parameters and performance in the cognitive task; and Pearson's correlation tests were applied to analyze the association between measures of cortical activity, walk and cognitive functions. **Results:** PFC activation occurred in an increasing way between the age groups, with some peculiarities for each walking condition. The G60 group presented greater activation of the PFC compared to the G30 group in the usual walking. The G50 and G60 groups showed greater PFC activation compared to the G20 group on the adaptive walking. The G30, G50, G60 and G70 groups showed greater activation of PFC compared to the G20 group in the dual task walking. The G70 group had worse cognitive and walking performance compared to the other groups. Also, the greater PFC activation was correlated with worse walking performance and cognitive function (executive function). **Conclusion:** The aging process causes a gradual increase in the participation of the indirect pathway in the walking control and this increase is influenced by the locomotor task performed. Also, the activation of the PFC as compensatory mechanism becomes inefficient from the seventh decade of life. This inefficiency may be associated with executive function impairments, which are more exacerbated in individuals of the G70 group. In general, the lower activation of the prefrontal cortex is related to better walking performance and better executive function.

Keywords: Aging. Locomotion. fNIRS. Prefrontal cortex.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	10
2 OBJETIVOS E HIPÓTESES	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Alterações do córtex pré-frontal no envelhecimento durante o andar.....	14
3.2 Controle e características do andar no envelhecimento.....	16
3.3 Efeitos do envelhecimento nas funções cognitivas, ansiedade e depressão	19
4 MATERIAIS E MÉTODO	23
4.1 Participantes	23
4.2 Avaliação cognitiva	23
4.3 Avaliação do andar	24
4.4 Análise dos dados	26
4.5 Análise estatística	28
5 RESULTADOS	29
5.1 Caracterização da amostra	29
5.2 Atividade do córtex pré-frontal	31
5.3 Desempenho na tarefa cognitiva	34
5.4 Desempenho do andar	35
5.5 Associações entre atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar e cognitivas.....	40
5.5.1 Associação entre a atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar usual e cognitivas.....	40
5.5.2 Associação entre a atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar adaptativo e cognitivas.....	40
5.5.3 Associação entre a atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar com tarefa dupla e cognitivas.....	40

6 DISCUSSÃO	44
6.1 <i>Efeito do envelhecimento na atividade do córtex pré-frontal no andar</i>	44
6.2 <i>Desempenho cognitivo e do andar</i>	46
6.3 <i>Associações entre atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar e cognitivas</i>	48
6.4 <i>Uma interpretação integrada dos resultados: Atividade do córtex pré-frontal no andar e desempenho cognitivo e do andar</i>	49
6.5 <i>Limitações e implicação prática</i>	50
7 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A - Resultados estatísticos das ANCOVAs	61
APÊNDICE B - Resultados estatísticos das ANOVAs	62

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A população idosa mundial vem crescendo acentuadamente nos últimos anos. Especificamente para o Brasil, o último relatório divulgado pela Organização Mundial da Saúde mostrou que o Brasil, em 2013, apresentava 11% de idosos, o que correspondia a aproximadamente 22 milhões de indivíduos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015). Ainda, as projeções indicam que o Brasil terá, em 2025, mais de 33 milhões de idosos que representarão aproximadamente 16,2% da população (IBGE, 2015). Este crescimento da população idosa evidencia a relevância social dos estudos envolvendo a temática do envelhecimento.

A literatura é consistente em demonstrar que o envelhecimento provoca alterações na locomoção. Por exemplo, idosos apresentam, durante o andar usual (terreno plano sem obstáculos e em velocidade preferida), diminuição da velocidade e comprimento do passo, diminuição da fase de balanço (apoio unipodal) e aumento da duração do passo, tempo em duplo suporte e da variabilidade do andar (OSOBA *et al.*, 2019). Além disso, idosos apresentam dificuldades durante a locomoção em terrenos irregulares e durante a ultrapassagem de obstáculos – andar adaptativo (MAIDAN *et al.*, 2018a). Estudos verificaram que idosos apresentam uma estratégia mais conservadora ao ultrapassar obstáculos, incluindo menor comprimento e velocidade do passo, e maior distância vertical dos pés em relação ao obstáculo, proporcionando maior tempo para o ajuste dos pés em relação ao obstáculo (PAN *et al.*, 2016). Entretanto, os idosos posicionam os pés mais próximos ao obstáculo, tanto antes como depois da ultrapassagem, fator que está associado com maior risco de tropeço (MAIDAN *et al.*, 2018a). Ainda, alterações nos parâmetros do andar de idosos também são observadas quando o andar é combinado com outra tarefa simultânea (tarefa dupla) (MIRELMAN *et al.*, 2018). Com o avançar da idade, ocorre um declínio na função executiva (HAMASAKI *et al.*, 2018) e isso acarreta em uma diminuição da velocidade e aumento da variabilidade do andar em condição de tarefa dupla (MACAULAY *et al.*, 2014; MIRELMAN *et al.*, 2018), além de um pior desempenho cognitivo na tarefa concomitante ao andar (MIRELMAN *et al.*, 2018; SRYGLEY *et al.*, 2009).

As alterações no andar provocadas pelo envelhecimento estão, em geral, associadas ao aumento do risco de quedas e à diminuição da qualidade de vida (OSOBA *et al.*, 2019). Aproximadamente 30% dos idosos caem durante o período de um ano (KULINSKI *et al.*, 2017). As quedas podem causar um conjunto de complicações físicas, psicológicas e funcionais, como: fraturas, medo de quedas, diminuição da mobilidade e de componentes da capacidade funcional

e perda da independência para a realização das atividades diárias (HILL *et al.*, 2010; ZHOU; SHI; YU, 2013).

Apesar dos correlatos neurais dos comprometimentos do andar não serem completamente compreendidos, pesquisas recentes apontam importante contribuição de alterações funcionais do córtex cerebral no andar. Herold *et al.* (2017) sugerem que o córtex cerebral está envolvido em duas vias de controle do andar humano. A via direta, entre o córtex motor primário e a medula espinhal, seria responsável pelo controle do andar em velocidade constante. Por outro lado, a via indireta, que envolve a área motora suplementar, córtex pré-motor, córtex pré-frontal e os núcleos da base, seria responsável pelo planejamento e modulação do andar (ex: iniciar e parar, ultrapassar e desviar de obstáculos, etc.). Os equipamentos portáteis de espectroscopia funcional por infravermelho próximo (fNIRS) têm sido utilizados para o registro da atividade do córtex cerebral durante o andar em situação real (STUART *et al.*, 2018; VITORIO *et al.*, 2017). A fNIRS é uma técnica de imagem funcional que registra a atividade hemodinâmica cerebral (mudanças na concentração de oxi-(HbO₂) e desoxihemoglobina desencadeadas pela alteração da atividade neural) por meio de difusão óptica.

Estudos recentes sugerem que, além de mudanças nos parâmetros motores, idosos apresentam alterações na atividade do córtex cerebral durante o andar (VITORIO *et al.*, 2017). Um estudo de Mirelman *et al.* (2017) verificou que idosos apresentam maior recrutamento do córtex pré-frontal durante tarefas mais simples, como o andar usual (em comparação com ficar parado em pé), enquanto os jovens não apresentaram aumento da ativação do córtex pré-frontal nessa condição. Entretanto, a literatura apresenta resultados inconsistentes em relação as alterações na atividade do córtex pré-frontal com o envelhecimento em situações mais complexas do andar, como na ultrapassagem de obstáculos e andar com tarefa dupla. Holtzer *et al.* (2011) verificaram maior ativação do córtex pré-frontal durante o andar com tarefa dupla em adultos jovens comparado aos idosos, apesar dos idosos também terem aumentado a atividade do córtex pré-frontal na condição de tarefa dupla. Fraser *et al.* (2016) observaram aumento similar da ativação cortical durante o andar com tarefa dupla em adultos jovens e idosos. Mirelman *et al.* (2017) mostraram que idosos apresentaram maior atividade cortical do córtex pré-frontal durante o andar com tarefa dupla e na ultrapassagem de obstáculos em comparação com adultos jovens, apesar dos jovens também terem aumentado a atividade do córtex pré-frontal em ambas as condições. Ainda, Hawkins *et al.* (2018) verificou que os idosos apresentaram maior atividade do córtex pré-frontal na ultrapassagem de obstáculos na fase inicial do andar (30 segundos iniciais) em comparação com os jovens, enquanto na fase final

(30 segundos finais) apenas os idosos apresentaram aumento da ativação do córtex pré-frontal. Cabe destacar que cada um desses estudos utilizou uma tarefa cognitiva diferente durante o andar, o que sugere que as diferenças nos achados de tais estudos podem ser dependentes da tarefa cognitiva utilizada. Ainda, as tarefas cognitivas empregadas nos estudos anteriores envolveram a fala, o que pode acarretar em artefatos de movimento no sinal registrado e comprometer os resultados se não forem adequadamente eliminados (VITÓRIO *et al.*, 2017). Evidências adicionais sobre o envolvimento do córtex pré-frontal no controle do andar vêm de estudos comportamentais que observaram associações entre funções cognitivas, processadas no córtex pré-frontal, e parâmetros do andar em idosos saudáveis e pacientes com declínios cognitivos (MORRIS *et al.*, 2016. LIRANI-SILVA *et al.*, 2018).

Embora estes achados sejam importantes e representem grande avanço para a compreensão dos correlatos neurais do controle da locomoção em idosos, os estudos existentes apresentam limitações. Dentre elas, é possível destacar uma principal: os estudos não consideram o processo de envelhecimento em um espectro mais amplo e, ao contrário, apresentam comparações limitadas a extremos de idade (adulto jovem X idoso). Neste sentido, faz-se necessário conhecer as alterações que ocorrem ao longo do processo de envelhecimento, considerando várias faixas etárias não estudadas até o momento. A aplicação da técnica de fNIRS durante o andar de indivíduos de diferentes faixas etárias pode contribuir para a identificação do momento (faixa etária) em que as alterações inerentes ao envelhecimento afetam a atividade do córtex cerebral durante o andar.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

Os objetivos deste estudo foram: (i) investigar os efeitos do envelhecimento na atividade do córtex pré-frontal durante o andar usual, adaptativo e com tarefa dupla; e (ii) analisar a associação entre a atividade cortical e medidas do andar e de funções cognitivas. Era esperado que o presente estudo pudesse identificar alterações relacionadas à idade na atividade do córtex pré-frontal durante o andar. A identificação da faixa etária em que tais alterações corticais têm início pode favorecer o desenvolvimento de intervenções precoces com o intuito de evitar os comprometimentos característicos dos idosos durante o andar. De maneira geral, Herold *et al.* (2017) sugerem que a perda de automaticidade do andar, seja por aumento da demanda cognitiva da tarefa ou por alterações nos sistemas corporais relacionadas ao envelhecimento ou doenças neurológicas, leva à utilização da via indireta de controle do andar, como um mecanismo compensatório. Dessa forma, as hipóteses deste estudo foram: (i) a idade influencia

a ativação do córtex pré-frontal, sendo que os grupos com mais idade apresentam maior atividade do córtex pré-frontal em todas as condições do andar em comparação com grupos com menos idade e; (ii) menor ativação do córtex pré-frontal está relacionada com uma melhor performance do andar e função cognitiva.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão de literatura aborda, inicialmente, as alterações da atividade do córtex cerebral no envelhecimento durante o andar. Em seguida, é apresentado como ocorre o controle do andar e como é caracterizado o andar de idosos nas condições de andar usual, ultrapassagem de obstáculos e tarefa dupla. Por fim, são abordadas as principais funções cognitivas e os sintomas de ansiedade e depressão, como estas estão afetadas no envelhecimento e suas implicações na vida cotidiana do idoso.

3.1 Alterações do córtex pré-frontal no envelhecimento durante o andar

Atualmente, muitos estudos na área de Controle Motor têm investigado o papel das diferentes áreas do cérebro no controle dos movimentos humanos, sobretudo as alterações da atividade do córtex cerebral durante o andar. O córtex corresponde à uma fina camada de neurônios localizada na superfície encefálica. Korbinian Brodmann, famoso neuroanatomista alemão, construiu um mapa citoarquitetônico do córtex propondo que as diferentes áreas corticais executam funções específicas (BEAR, *et al.* 2008). Sendo bem desenvolvido nos seres humanos, o córtex pré-frontal recebe atenção nos estudos atuais por ser responsável pela autoconsciência, capacidade de planejamento complexo e resolução de problemas (BEAR, *et al.* 2008).

As técnicas mais comumente utilizadas para mensuração da atividade cerebral são as de neuroimagem (PET e fMRI). Entretanto, tais técnicas apresentam importantes limitações para estudos sobre o controle da locomoção: o participante não pode se mover durante o teste. Considerando a necessidade de uma abordagem mais ecológica a fim de registrar a atividade do córtex cerebral durante o andar em situação real, equipamentos portáteis de fNIRS têm sido muito utilizados (STUART *et al.*, 2018; VITORIO *et al.*, 2017). A fNIRS é uma técnica de imagem funcional não invasiva que registra a atividade hemodinâmica cerebral (mudanças na concentração de oxi- e desoxihemoglobina desencadeadas pela alteração da atividade neural) por meio de difusão óptica.

Um estudo de Mirelman *et al.* (2017) verificou que idosos apresentam maior recrutamento do córtex pré-frontal durante tarefas mais simples, como o andar usual (em comparação com ficar parado em pé), enquanto os jovens não apresentaram aumento da ativação do córtex pré-frontal nessa condição. Este achado suporta a ideia de que o processo de envelhecimento acarreta em um andar menos automatizado e que requer recursos cognitivos para compensar a perda de automaticidade. Além disso, a literatura é consistente em mostrar

mudanças no andar relacionadas com a idade quando o mesmo é combinado com uma tarefa cognitiva concomitante ou durante tarefas mais complexas e desafiadoras como a ultrapassagem de obstáculos (MAIDAN *et al.*, 2018a; MIRELMAN *et al.*, 2018). Considerando que para uma locomoção segura nessas condições é necessária a utilização de recursos cognitivos como atenção, função executiva, planejamento motor e processamento de estímulos do ambiente (MIRELMAN *et al.*, 2012, 2018; MONTERO-ODASSO *et al.*, 2012), é importante analisar as alterações que ocorrem no córtex pré-frontal durante o processo de envelhecimento. Contudo, estudos que verificaram o efeito do envelhecimento (jovem x idoso) na atividade do córtex pré-frontal durante o andar com a utilização do fNIRS mostraram resultados inconsistentes: Holtzer *et al.* (2011) evidenciaram que jovens e idosos apresentam uma maior ativação do córtex pré-frontal durante o andar com tarefa dupla, porém foi observada uma ativação do ainda maior nos jovens em relação aos idosos; Fraser *et al.* (2016) observaram aumento similar da ativação cortical durante o andar com tarefa dupla em jovens e idosos; Mirelman *et al.* (2017) evidenciaram maior ativação do córtex pré-frontal em idosos durante o andar com tarefa dupla e na ultrapassagem de obstáculos em comparação com jovens, apesar destes também terem aumentado a atividade do córtex pré-frontal em ambas as condições; e Hawkins *et al.* (2018) verificou que os idosos apresentaram maior atividade do córtex pré-frontal na ultrapassagem de obstáculos na fase inicial do andar (30 segundos iniciais) em comparação com os jovens, enquanto na fase final (30 segundos finais) apenas os idosos apresentaram aumento da ativação do córtex pré-frontal.

Ainda, estudos que verificaram a atividade do córtex pré-frontal durante o andar apenas em um grupo (jovem ou idoso) observaram que tanto jovens como idosos apresentam maior ativação do córtex pré-frontal na condição de ultrapassagem de obstáculos e tarefa dupla em relação ao andar usual (CHEN *et al.*, 2017; HILL *et al.*, 2013; HOLTZER *et al.*, 2015, 2018; LUCAS *et al.*, 2018; MAIDAN *et al.*, 2016, 2018b); com exceção de Lin e Lin (LIN; LIN, 2016) que verificaram menor atividade do córtex pré-frontal durante o andar com tarefa dupla em jovens.

Tendo em vista as discrepâncias encontradas entre os estudos, algumas considerações devem ser feitas em relação ao tipo de tarefa dupla e grupos analisados. A maioria dos estudos que verificou a atividade do córtex pré-frontal durante o andar com tarefa dupla utilizou tarefas cognitivas, como: recitar letras alternadas do alfabeto (CHEN *et al.*, 2017; HOLTZER *et al.*, 2011; LUCAS *et al.*, 2018; VERGHESE *et al.*, 2017; HOLTZER *et al.*, 2018), n-back auditivo (FRASER *et al.*, 2016), subtração serial de 7 a partir de um número de 3 dígitos (LU *et al.*, 2015; MIRELMAN *et al.*, 2014), subtração serial de 3 a partir de um número de 3 dígitos

(MAIDAN *et al.*, 2016; MIRELMAN *et al.*, 2017), fluência verbal (HAWKINS *et al.*, 2018; METZGER *et al.*, 2017), contagem para frente (MIRELMAN *et al.*, 2014) e contagem para trás (HILL *et al.*, 2013). Porém, tais tarefas envolvem a fala, fator que pode acarretar em artefato de movimento no sinal registrado pela fNIRS, o que pode comprometer os resultados do estudo. De acordo com uma revisão recente de Vitório *et al.* (2017), é recomendável que sejam desenvolvidas tarefas cognitivas com níveis de dificuldade que apresentem artefatos mínimos. Dessa forma, este presente estudo propôs a utilização de uma tarefa cognitiva não verbal de procura de dígitos. Além disso, os estudos que investigaram o efeito do envelhecimento na atividade do córtex pré-frontal durante o andar limitaram-se em dois grupos etários extremos (jovem X idoso). Para uma análise mais ampla do processo de envelhecimento, este estudo propôs analisar a atividade do córtex pré-frontal em seis grupos etários: 20-25, 30-35, 40-45, 50-55, 60-65 e 70-75; a fim de identificar em que momento (faixa etária) ocorrem as alterações da atividade cortical inerentes do envelhecimento.

3.2 Controle e características do andar no envelhecimento

Um dos movimentos mais primitivos e fundamentais para a realização das ações do dia a dia é o andar, sendo considerada uma atividade complexa que envolve diversos processos neurais e do sistema musculoesquelético (PARASKEVOUDI *et al.*, 2018). A locomoção é caracterizada por 3 requisitos principais: progressão, controle postural e adaptação (DAS; MCCOLLUM, 1988; PATLA, 1991, 1997; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010). A progressão envolve mover o corpo com êxito em uma direção ou até um local desejado; o controle postural é necessário para estabelecer e manter uma postura apropriada para o andar e também a estabilidade dinâmica do corpo em movimento; e a adaptação é importante para uma locomoção com êxito em ambientes desafiadores que requerem que o padrão do andar seja adaptado (DAS; MCCOLLUM, 1988; PATLA, 1991, 1997; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010).

O andar é uma tarefa sensório-motora complexa que, segundo estudos com ressonância magnética em protocolos com imaginação do andar, envolve uma via locomotora direta e outra indireta (HAMACHER *et al.*, 2015; LA FOUGÈRE *et al.*, 2010). A primeira delas está relacionada com a locomoção não modulatória e é controlada por áreas do córtex motor primário, que envia projeções diretamente para os geradores centrais de padrão da medula espinhal (LA FOUGÈRE *et al.*, 2010). Um ciclo de retroalimentação segue da medula até o

cerebelo (via formação reticular pontina) e, desse modo, via região locomotora cerebelar e tálamo até o córtex (LA FOUGÈRE *et al.*, 2010). Em contrapartida, a via indireta é ativada durante o andar adaptativo, para o planejamento e modulação da locomoção, e envolve regiões do tronco encefálico, córtex motor e cerebelo (LA FOUGÈRE *et al.*, 2010). Os sinais locomotores se originam na área motora suplementar e são transmitidos através dos núcleos da base e regiões locomotoras subtalâmica e mesencefálica até a formação reticular pontina e medula espinhal (LA FOUGÈRE *et al.*, 2010). As projeções ascendentes seguem até a região locomotora cerebelar, que se projeta através do tálamo de volta ao córtex (LA FOUGÈRE *et al.*, 2010). A participação destas duas vias locomotoras (direta e indireta) também foi proposta por uma revisão sistemática recente de Herold *et al.* (2017). Diferentemente de La Fougere *et al.* (2010), que verificaram a ativação cerebral durante o andar através da ressonância magnética funcional (fMRI) e tomografia por emissão de pósitrons (PET), a revisão sistemática de Herold *et al.* (2017) utilizou estudos com fNIRS a fim de investigar a resposta hemodinâmica do cérebro durante o andar real. A principal diferença encontrada neste estudo foi que, além da área motora suplementar, a área pré-motora e o córtex pré-frontal também estão ativos durante o andar adaptativo (via indireta). Dessa forma, em tarefas mais desafiadoras, o andar deixa de ser automático (via direta), necessitando de mecanismos compensatórios (via indireta) (HEROLD *et al.*, 2017).

Atualmente, com o aumento acentuado da população idosa, o processo de envelhecimento tem se tornado uma área de interesse nos estudos. O envelhecimento é um processo dinâmico e progressivo que envolve mudanças em diversos sistemas e, conseqüentemente, tais alterações influenciam no andar usual, na ultrapassagem de obstáculos e também no andar realizado com uma tarefa concomitante (andar com tarefa dupla) de idosos. Algumas das principais mudanças espaço-temporais no andar usual de idosos, quando comparados com jovens, são: diminuição da velocidade do andar, do comprimento do passo, do balanço do braço e da fase de balanço e aumento da largura do passo, da variabilidade passo-a-passo, do tempo em duplo suporte e da duração da passada (GRABINER; BISWAS; GRABINER, 2001; HAMACHER *et al.*, 2011; MIRELMAN *et al.*, 2017; PARASKEVOUDI; BALCI; VATAKIS, 2018; PIRKER; KATZENSCHLAGER, 2017). Além disso, fatores biomecânicos e neuromusculares relacionados com o processo de envelhecimento também podem influenciar o andar de idosos, como: uma maior flexão de tronco, extensão limitada do quadril, redução do movimento do tornozelo, maior recrutamento de unidade motoras e coativação muscular (MCGIBBON, 2003; VANSWEARINGEN; STUDENSKI, 2014; WERT *et al.*, 2010). Todas essas alterações contribuem para um aumento do custo energético do andar

em idosos e, ainda, alterações cerebrais inerentes ao envelhecimento podem perturbar o circuito neural do andar, tornando esta habilidade menos automática (VANSWEARINGEN; STUDENSKI, 2014).

Nas atividades da vida diária, idosos necessitam desviar e/ou ultrapassar obstáculos presentes no ambiente a fim de evitar quedas. Esta capacidade de negociação com obstáculos é um componente importante para um andar independente e seguro (NOVAK; DESHPANDE, 2014). Para uma ultrapassagem bem-sucedida, é necessário planejamento, organização e geração de respostas motoras adequadas (NOVAK; DESHPANDE, 2014). Além disso, as informações sensoriais, como a visão e a propriocepção, também são essenciais para uma ultrapassagem segura do obstáculo, sendo que a falha de um ou mais sistemas pode comprometer a integração sensorial para a realização da tarefa e ocasionar tropeços e quedas (HAUSDORFF, 2007). O processo de envelhecimento acarreta em alterações nos sistemas sensoriais que contribuem para o declínio no desempenho de idosos em ultrapassar obstáculos. Os idosos apresentam uma estratégia mais conservadora na ultrapassagem de obstáculos quando comparado com adultos jovens, a fim de compensar declínios motores e cognitivos do envelhecimento (GALNA *et al.*, 2009). Um andar mais lento e com passos curtos é característico de idosos na ultrapassagem de obstáculos quando o tempo para a realização da tarefa não é limitado, permitindo um tempo maior para realização de ajustes da colocação do pé em relação ao obstáculo a fim de reduzir o risco de tropeços (MAIDAN *et al.*, 2018a; MIRELMAN *et al.*, 2017; PAN *et al.*, 2016).

Além da ultrapassagem de obstáculos, estudos mostraram que idosos apresentam dificuldades na realização do andar quando combinado com outra tarefa simultânea (tarefa dupla), que pode ser cognitiva ou motora (MIRELMAN *et al.*, 2018). Estudos não verificaram diferenças entre o tipo de tarefa secundária, tarefa cognitiva ou motora, e a interferência da tarefa dupla em idosos (HUNTER *et al.*, 2018; O'SHEA; MORRIS; IANSEK, 2002). Diversas tarefas cognitivas e/ou motoras têm sido propostas pelos pesquisadores da área para verificar o custo da tarefa dupla e as mudanças dos parâmetros espaço-temporais do andar, como: tarefas de subtração, contagem progressiva, fluência verbal, carregar um copo de água em uma bandeja com uma mão e transferência de moedas (BRUSTIO *et al.*, 2017; HUNTER *et al.*, 2018; KRAMPE *et al.*, 2011; LU *et al.*, 2015; MIRELMAN *et al.*, 2014; SRYGLEY *et al.*, 2009). De maneira geral, os idosos apresentam menor velocidade, comprimento da passada e tempo de balanço e maior variabilidade da velocidade da passada em condições de tarefa dupla em relação ao andar usual, sendo o mesmo válido quando comparado com adultos jovens (HAUSDORFF *et al.*, 2008; HOLLMAN *et al.*, 2007; MIRELMAN *et al.*, 2017; SMITH; CUSACK; BLAKE,

2016). Ainda, a literatura mostra que a performance da tarefa secundária é menor em idosos em relação aos adultos jovens (BRUSTIO *et al.*, 2017; OH-PARK *et al.*, 2013). Considerando esse conjunto de alterações do padrão de andar em idosos em diferentes condições, o risco de quedas nessa população se torna maior. Aproximadamente 30% dos idosos acima de 65 anos apresentam pelo menos uma queda por ano (AMBROSE *et al.*, 2015). As quedas estão entre as principais causas de lesões em idosos, acarretando em medo de quedas futuras, perda da independência, hospitalizações e até a morte (AMBROSE *et al.*, 2015).

3.3 Efeitos do envelhecimento nas funções cognitivas, ansiedade e depressão

As funções cognitivas representam um sistema de atividades mentais integradas e interdependentes que envolvem atenção, memória, atividade psicomotora fina (apraxia), linguagem, reconhecimento de pessoas e ambientes (gnosia) e funções executivas (STELLA, 2004). Déficits nas funções cognitivas e sintomas neuropsiquiátricos são comumente observados com o processo de envelhecimento, sendo acompanhados por mudanças estruturais e funcionais do cérebro (FAN *et al.*, 2019; FISKE; WETHERELL; GATZ, 2009; GRADY, 2013). O lobo frontal sofre mudanças que implicam no declínio de funções cognitivas. Uma redução de 10-17% do córtex frontal é observada em idosos acima de 65 anos, enquanto ocorre uma redução de apenas 1% nos córtices temporal, parietal e occipital (BEURSKENS; BOCK, 2012).

Idosos podem apresentar comprometimentos nas funções cognitivas, especialmente na atenção, memória e função executiva. A atenção, uma capacidade de concentração em estímulos específicos, está envolvida em praticamente todos os outros domínios cognitivos, com exceção de quando ocorre uma automatização da tarefa (GLISKY, 2007; HARADA *et al.*, 2013). Usualmente, a atenção é dividida em seletiva, dividida e sustentada (GLISKY, 2007). A atenção seletiva refere-se à capacidade de se concentrar em informações específicas, enquanto desconsidera informações irrelevantes no ambiente; a atenção dividida envolve o processamento de duas ou mais informações simultaneamente; e a atenção sustentada refere-se à capacidade de manter a concentração em uma tarefa por um longo período de tempo (GLISKY, 2007; HARADA *et al.*, 2013). Estudos verificaram que idosos apresentam déficits de atenção principalmente em tarefas mais complexas que requerem atenção seletiva e dividida, fatores que podem impactar nas ações da vida cotidiana do idoso (SALTHOUSE *et al.*, 1995). Um exemplo disso é a habilidade de dirigir um carro, onde a atenção é dividida entre dirigir, monitorar o ambiente e identificar e selecionar estímulos visuais relevantes com base na sua

localização espacial (GLISKY, 2007; HARADA *et al.*, 2013). De maneira geral, idosos apresentam pior desempenho do que jovens em tal habilidade (GLISKY, 2007; HARADA *et al.*, 2013).

A memória pode ser definida como a capacidade de um organismo codificar, armazenar, reter e recordar informações e experiências e, posteriormente, evocá-las (LURIA, 1981; SCHACTER; WAGNER, 2014). Os processos que caracterizam a memória são: codificação, armazenamento, consolidação e evocação (SCHACTER; WAGNER, 2014). Além disso, a memória é dividida em memória sensorial, memória de curto prazo ou de trabalho e memória de longo prazo. A memória sensorial envolve informações obtidas pelos órgãos dos sentidos e são armazenadas por um curto período de tempo (1s) (SCHMIDT; LEE, 2016). A memória de curto prazo ou de trabalho envolve o armazenamento temporário e limitado de informações necessárias para tarefas cognitivas complexas, como o planejamento de ações motoras, sendo que este armazenamento ocorre somente enquanto uma tarefa está sendo realizada (GLISKY, 2007; SCHACTER; WAGNER, 2014). A memória de longo prazo está relacionada com armazenamento de informações obtidas por um longo período de tempo, com capacidade ilimitada (SCHMIDT; LEE, 2016). Particularmente, esta apresenta dois subtipos: a memória explícita (declarativa), compreendendo a memória episódica e semântica, e a memória implícita (não declarativa) (GLISKY, 2007). De modo geral, a memória episódica envolve lembranças conscientes de recordações pessoais ou eventos; a memória semântica o conhecimento conceitual (palavras, linguagem, símbolos, etc); e a memória implícita é aquela relacionada com mudanças de comportamento tipicamente inconscientes (GLISKY, 2007; ROBERTSON, 2002).

Estudos apontam que o processo de envelhecimento afeta diferentemente os tipos de memória, sendo as principais afetadas as memórias de trabalho e episódica (GLISKY, 2007; ALATORRE-CRUZ *et al.*, 2018; ALJONDI *et al.*, 2018; NYBERG *et al.*, 2012). Uma das áreas mais afetadas com o envelhecimento é o lobo frontal. A memória de trabalho é mediada principalmente pelo córtex pré-frontal dorsolateral, sendo o lado esquerdo envolvido em tarefas verbais e o direito em tarefas visuoespaciais (WAGER; SMITH, 2003). Dessa forma, é esperado que as alterações do processo de envelhecimento nessa região possam afetar a memória de trabalho de idosos. Além disso, comprometimentos na memória episódica estão relacionadas com diminuição do volume e substância branca tanto no lobo frontal, como também no corpo caloso e hipocampo (MURMAN, 2015; PARASKEVOUDI *et al.*, 2018).

As funções executivas são um conjunto de habilidades cognitivas que permitem ao indivíduo completar com sucesso um comportamento direcionado a uma meta específica

(ROBBINS, 1996). De acordo com Pennington e Ozonoff (1996), as funções executivas envolvem: i) planejamento e resolução de problemas: preparação de ações futuras a fim de atingir um objetivo e a geração de soluções para lidar com situações que dificultem o alcance da meta; ii) mudanças no set (*set shifting*): capacidade de alterar estratégias quando necessário ou após feedback quando o plano original não está sendo eficiente; iii) sequenciamento: capacidade de seguir uma sequência eficiente para a meta; iv) inibição: capacidade de isolar elementos distratores que possam interferir no objetivo; v) memória de trabalho; e vi) monitoramento: capacidade de auto verificar o progresso direcionado ao objetivo. Diminuições na densidade da substância branca, volume e funções das regiões pré-frontais do cérebro são alterações do envelhecimento associadas ao declínio nas funções executivas (PARASKEVOUDI; BALCI; VATAKIS, 2018; YOGEV-SELIGMANN *et al.*, 2008). Déficits nas funções executivas podem interferir nas tarefas do cotidiano dos idosos, como a resolução de problemas, tomada de decisão e, principalmente, no andar com tarefa dupla, no qual os idosos apresentam comprometimentos ao dividir a atenção conforme a demanda da tarefa dupla aumenta e também quando duas tarefas competem pelos mesmos recursos corticais (GLISKY, 2007; PARASKEVOUDI *et al.*, 2018).

Além de déficits cognitivos, o processo de envelhecimento pode acarretar em sintomas neuropsiquiátricos, como a ansiedade e depressão (BRENES, 2006; FISKE *et al.*, 2009; FORLANI *et al.*, 2014; ISMAIL *et al.*, 2013; MILOYAN *et al.*, 2014), que podem iniciar na adolescência (GREEN *et al.*, 2004). A ansiedade está associada com uma preocupação aumentada, bem como dificuldades em controlar a preocupação, nervosismo, coração acelerado e suor nas palmas das mãos (BRENES, 2006; WETHERELL *et al.*, 2001). Os sintomas de depressão manifestam-se como desesperança em relação ao futuro, distúrbios do sono, perda de apetite, fadiga, entre outros (LUPPA *et al.*, 2012). Um estudo de Wuthrich *et al.* (2015) verificou que mesmo os sintomas de depressão e ansiedade estando presentes tanto em jovens quanto em idosos, há algumas diferenças nas manifestações desses sintomas. Os idosos apresentam menores preocupações com relacionamentos interpessoais e de trabalho/escola, menor fobia social, e maior anedonia em comparação com os jovens (WUTHRICH; JOHNCO; WETHERELL, 2015). Além disso, estudos observaram que idosos com depressão apresentam maiores riscos de manifestar declínio cognitivo, comprometimento cognitivo leve e demência (GREEN *et al.*, 2003; VERDELHO *et al.*, 2013; WILSON *et al.*, 2002). Ainda, a depressão e a ansiedade também estão associadas com disfunções do andar em idosos, como menor velocidade, maior variabilidade do andar, medo de quedas, e maior risco de quedas (BRANDLER *et al.*, 2012; JAHN; ZWERGAL; SCHNIEPP, 2010; TURCU *et al.*, 2004).

Como consequências da ansiedade e depressão, idosos podem apresentar um declínio funcional, cognitivo e social, maior incapacidade, maiores riscos de morbidade, maiores taxas de suicídio e diminuição da qualidade de vida (BRYANT *et al.*, 2008; FISKE *et al.*, 2009).

4 MATERIAIS E MÉTODO

Todos os procedimentos experimentais abaixo descritos foram realizados nas dependências do Laboratório de Estudos da Postura e da Locomoção (LEPLO; Departamento de Educação Física/Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista campus de Rio Claro). O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Local (CAAE: 82141618.1.0000.5465).

4.1 Participantes

Noventa participantes foram selecionados, sendo 15 participantes sadios em cada uma das seguintes faixas etárias: 20-25, 30-35, 40-45, 50-55, 60-65 e 70-75 anos. Os seguintes critérios de exclusão para a composição da amostra foram estabelecidos: histórico de problemas ortopédicos que impossibilitassem o cumprimento do protocolo experimental, e diagnóstico de demência (*Montreal Cognitive Assessment* - MoCA ≤ 17) (SACZYNSKI *et al.*, 2015). Após fornecerem consentimento, os indivíduos selecionados foram convidados a participar dos procedimentos experimentais. Inicialmente, uma anamnese foi realizada com o intuito de coletar dados como idade e histórico de problemas ortopédicos.

4.2 Avaliação cognitiva

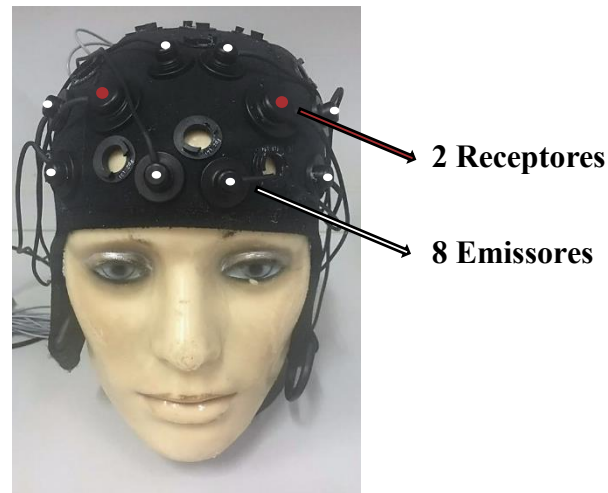
A avaliação cognitiva incluiu testes para funções cognitivas globais e funções executivas (incluindo atenção). Ainda, uma avaliação foi realizada para rastreamento dos sintomas de ansiedade e depressão. O MoCA foi aplicado com a finalidade de avaliar condições cognitivas globais. O MoCA avalia diferentes domínios cognitivos: função executiva, capacidade visuo-espacial, memória, atenção, concentração e memória de trabalho, linguagem e orientação temporal e espacial. A pontuação máxima do teste é de 30 pontos, sendo que quanto maior a pontuação obtida, melhor é a cognição global do avaliado. As funções executivas dos participantes foram avaliadas por meio de dois testes: Teste Wisconsin de Classificação de Cartas (TWCC) – versão modificada (NELSON, 1976) e o *Trail Making Test* (TMT) (FITZHUGH *et al.*, 1962). O Teste Wisconsin de Classificação de Cartas é composto por 4 cartas de estímulo e 48 cartas de resposta. O avaliado é instruído a combinar as cartas de resposta com as cartas de estímulo, seguindo as dicas apresentadas pelo avaliador que, no caso, apenas pode responder certo ou errado. O avaliado deve descobrir a combinação correta (que pode ser por cor, número ou forma dos símbolos impressos nas cartas de estímulo). A cada 6 acertos consecutivos, o avaliador

muda a combinação e o avaliado deve mudar a estratégia escolhida. Foram avaliados os seguintes componentes cognitivos: abstração (categorias completas), flexibilidade mental (erros perseverativos) e atenção (falha na manutenção do set). O *Trail Making Test* avalia a flexibilidade cognitiva de mudar de um plano motor para outro de maneira rápida e acurada. O teste requer que o avaliado conecte, com um traçado feito a mão utilizando uma caneta, um conjunto de 25 pontos (ou alvos) impressos em uma folha em uma ordem específica. O avaliado é instruído a completar o teste o mais rápido e acurado possível. O *Trail Making Test* é composto por duas partes: na parte A, todos os pontos a serem conectados são números (de 1 a 25); na parte B, os pontos combinam números e letras e o avaliado deve alternar entre eles, iniciando pelo número 1 (Ex: 1, A, 2, B, 3, C, ...). O avaliador registra, por meio de um cronômetro manual, o tempo gasto pelo avaliado para executar cada parte do teste. Sintomas de ansiedade e depressão foram avaliados pela Escala Hospitalar de Ansiedade e Depressão – HAD (MONDOLO *et al.*, 2006). Esta escala contém duas subescalas, depressão e ansiedade, com 7 questões de múltipla escolha em cada subescala. A pontuação varia de 0 a 21 pontos para cada subescala, sendo que quanto maior a pontuação obtida, mais acentuados estão os sintomas de ansiedade e depressão.

4.3 Avaliação do andar

Antes do início da tarefa do andar, foram coletados dados de massa corporal e estatura. Em seguida, os participantes foram preparados para o registro da atividade do córtex pré-frontal, de acordo com os procedimentos sugeridos pelo fabricante do sistema portátil de fNIRS (OctaMon 8-channel NIRS system, frequência de amostragem de 10 Hz, Artinis Medical Systems, Netherlands). A empresa fabricante oferece uma touca com optodos (8 emissores e 2 receptores de luz; Figura 1), que é conectada a um amplificador para o registro do sinal. O amplificador é posicionado na própria touca (na região da nuca) e envia, via *bluetooth*, o sinal em tempo real para o computador de controle. Basicamente, a preparação do participante consistiu em encontrar referências anatômicas (ex: nasion,inion, pontos pré-auriculares, Cz) e posicionar a touca, que contém os locais pré-determinados dos optodos (posicionamento padrão 10/20) na cabeça do participante. Estes procedimentos de preparação duraram em torno de 10 min. O sistema OctaMon utiliza dois comprimentos de onda: 760 e 850 nm. A distância entre emissor e receptor é de 35mm.

Figura 1. Posicionamento dos receptores e emissores da touca do fNIRS.



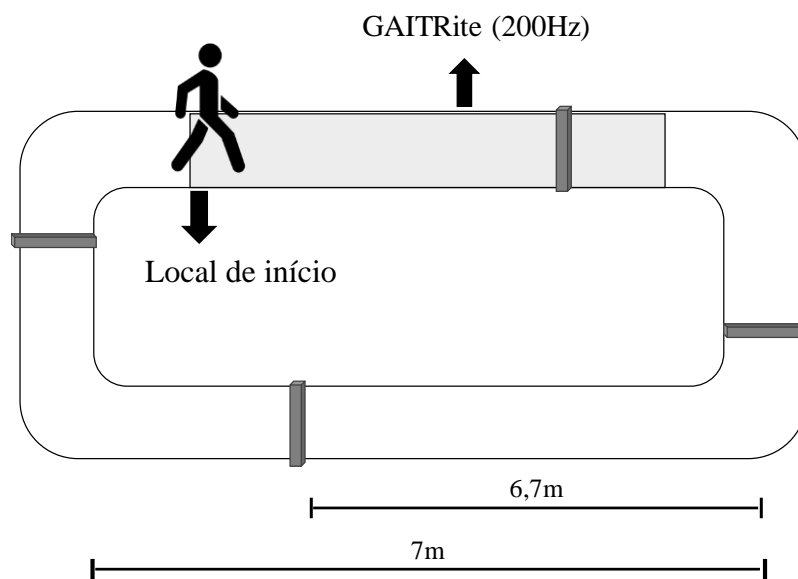
Os participantes foram convidados a andar, em velocidade preferida, sobre um circuito de 26,8 m de comprimento, com duas retas paralelas de 7 m. Um tapete de 5,74 m de comprimento com sensores de pressão (GAITRite®, CIR Systems Inc., frequência de amostragem de 200 Hz, Sparta, USA) foi posicionado no centro de uma das retas para o registro de medidas espaço-temporais do andar (Figura 2). Três condições experimentais foram realizadas: (i) andar usual, (ii) andar adaptativo (ultrapassagem de obstáculos), e (iii) tarefa dupla. Na condição de andar adaptativo, os participantes foram convidados a andar em velocidade preferida sobre o circuito enquanto ultrapassavam obstáculos posicionados a cada 6,7 m (um obstáculo foi posicionado imediatamente no final da área de registro do GAITRite®). Os obstáculos eram de espuma (3 cm de comprimento, 60 cm de largura e 15 cm de altura) (Figura 2).

Na condição de tarefa dupla, um áudio com duração de 30 segundos foi executado enquanto o participante andava sobre o circuito. O áudio era composto por números aleatórios de 1 a 9 e, ao final, o participante deveria expressar quantos números ímpares ou pares ouviu no áudio. Um comando foi dado no início do áudio para que o participante soubesse qual categoria de números deveria prestar atenção: números pares ou ímpares. Foram realizadas 5 tentativas randomizadas de baseline, na qual o participante deveria permanecer sentado e ouvir o áudio com os números. Os seguintes critérios foram adotados para esta condição: não fechar os olhos voluntariamente, não contar os números nos dedos e permanecer o mais parado possível olhando para frente.

Foram realizadas 15 tentativas de andar completamente randomizadas, sendo cinco tentativas para cada condição experimental. Cada tentativa teve duração de 60 segundos, sendo

30 segundos de repouso em pé e 30 segundos da tarefa locomotora. O desempenho na tarefa cognitiva foi quantificado pelo erro (diferença entre a resposta correta e a resposta dada pelo participante) em cada tentativa. O percentual do erro na tarefa cognitiva [(resposta do participante/ resposta correta do áudio) x 100] foi calculado para a condição baseline e de andar com tarefa dupla.

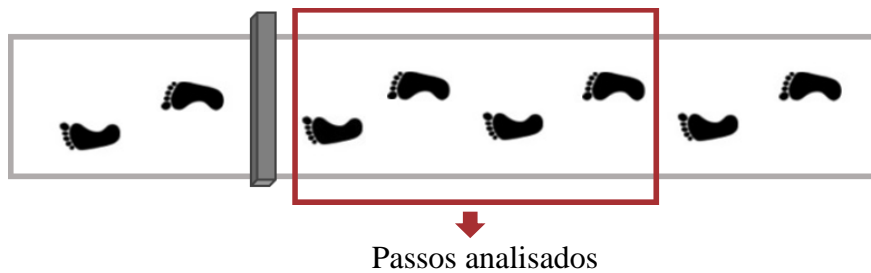
Figura 2. Representação do circuito do andar.



4.4 Análise dos dados

Os dados do tapete eletrônico foram analisados pelo software GAITRite 4.7.5. Foram considerados os quatro passos anteriores ao local correspondente ao posicionamento do obstáculo para a análise das variáveis do andar nas três condições experimentais (Figura 3). As variáveis do andar calculadas foram as médias da velocidade do passo, comprimento do passo, duração do passo e largura do passo. Além disso, o coeficiente de variação (CV), definido como (desvio padrão/média)*100, foi calculado para as mesmas variáveis (HAUSDORFF, 2005).

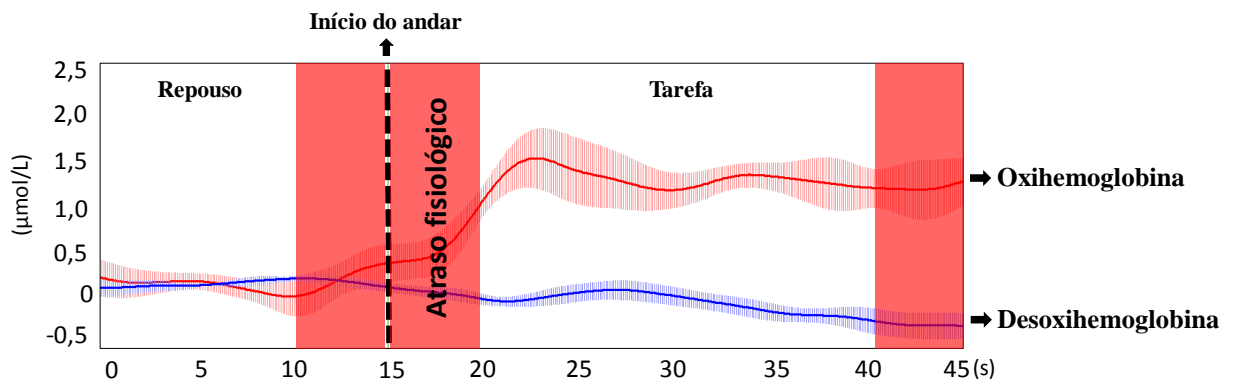
Figura 3. Representação dos passos do andar analisados para as três condições de andar.



Os dados da atividade do córtex pré-frontal foram registrados pelo software Oxysofttm (Artinis, Netherlands). A partir dos dados brutos de densidade óptica, os valores de HbO₂ foram calculados empregando a lei modificada de *Beer-Lambert* no software Oxysofttm. As correções de artefatos e filtragem foram realizadas por meio de algoritmos customizados escritos em linguagem Matlab (MATLAB and Statistics Toolbox Release R2015a, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, Estados Unidos), seguindo recomendações recentes para o processamento do sinal fNIRS (VITORIO *et al.*, 2017). Alterações na oxigenação cortical foram monitoradas em canais que abrangem o córtex pré-frontal. O sinal fNIRS foi processado na rotina de análise de série temporal disponível no software NIRS-SPM (NIRS-SPM, http://www.nitrc.org/projects/nirs_spm; YE *et al.*, 2009), que incluiu as seguintes etapas: (i) filtragem: o ruído de alta frequência foi reduzido/removido por um filtro passa-baixa com base na função de resposta hemodinâmica canônica (FRISTON *et al.*, 2000); (ii) *detrending*: um algoritmo *wavelet* (*wavelet minimum description length detrending algorithm*) foi utilizado para decompor o sinal em tendência global, resposta hemodinâmica e componentes de ruído (JANG *et al.*, 2009). Esta etapa reduz tendências globais devido à respiração, ritmo cardíaco, tônus de vasos sanguíneos ou outros erros experimentais (incluindo artefatos de movimento e drift do sinal). Em seguida, o sinal processado foi exportado para o Matlab para etapas adicionais de processamento por meio de algoritmo customizado. Alterações na oxigenação cortical foram monitoradas separadamente para cada região do hemisfério cerebral avaliado (média dos canais correspondentes): córtex pré-frontal direito e esquerdo. A fim de comparar os dados entre todos os sujeitos, a máxima alteração na concentração de HbO₂ de todas as tentativas e canais foi determinada para cada indivíduo. Finalmente, os dados individuais foram normalizados (divisão da amplitude média das respostas hemodinâmicas individuais de todos os canais pela correspondente alteração da concentração máxima durante todo o experimento). Este procedimento é utilizado para diminuir as diferenças de amplitude entre os indivíduos (KOENRAADT *et al.*, 2014). A tarefa foi dividida em dois períodos: repouso (últimos 10

segundos antes do início do andar, com exceção dos 5 segundos imediatamente anteriores ao início do andar que foram excluídos da análise) e tarefa (período entre 5 e 25 segundos após o início do andar, sendo excluídos os 5 segundos iniciais do andar por conta do atraso fisiológico e os 5 segundos finais de andar) (Figura 4). A média do sinal normalizado (HbO_2) foi calculada para cada hemisfério cerebral (direito e esquerdo). A diferença de concentração de HbO_2 entre a tarefa e o repouso também foi calculada para avaliar a mudança relativa da atividade cortical entre o andar e o repouso.

Figura 4. Representação dos períodos repouso e tarefa.



4.5 Análise estatística

Testes de Shapiro-Wilk foram empregados para verificação da normalidade na distribuição dos dados. ANOVAs one-way e Teste de Kruskal-Wallis foram realizados, respectivamente, para comparar dados demográficos e cognitivos entre os grupos. ANOVAs two-way com os fatores grupo e condição (andar usual, adaptativo e tarefa dupla) foram empregadas para analisar as diferenças dos parâmetros do andar. ANOVAs two-way com os fatores grupo e condição (baseline e andar com tarefa dupla) foram realizadas para verificar a diferença no desempenho na tarefa cognitiva (% erro). ANCOVAs com os fatores grupo e condição (andar usual, adaptativo e tarefa dupla), controlando pela velocidade média do andar, foram realizadas para analisar as diferenças nas concentrações de HbO_2 para cada hemisfério cerebral (esquerdo e direito). Testes *post hoc* de Bonferroni (com correção do nível de significância – 0,05/número de comparações) foram empregados para localizar as diferenças nos casos de efeitos principais com três ou mais níveis e interação entre fatores. Testes de correlação de Pearson foram aplicados para analisar a associação entre as medidas da atividade

cortical, do andar e de funções cognitivas. O cálculo do *z score* foi realizado para a pontuação do MoCA e para as variáveis analisadas do TWCC e TMT. O domínio função executiva foi desenvolvido a partir da média do *z score* calculado para as variáveis do TWCC e TMT. Esse cálculo do *z score* foi utilizado apenas para analisar a associação entre as medidas da atividade cortical e funções cognitivas. O nível de significância adotado foi de 0,05.

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização da amostra

Os dados demográficos, cognitivos e neuropsiquiátricos dos participantes estão apresentados na Tabela 1. Dois outliers foram excluídos da análise, sendo um indivíduo do grupo G20 e outro do grupo G70, totalizando 88 participantes analisados no estudo. ANOVAs *one-way* e testes de Kruskal-Wallis não apontaram diferenças significativas entre os grupos para sexo, altura, peso corporal, MoCA (cognição global), TWCC (falha no set) e HAD ansiedade e depressão. Testes de Kruskal-Wallis indicaram diferenças significativas entre os grupos para número de categorias completadas e erros perseverativos no TWCC. Testes *post hoc* revelaram que o grupo G60 apresentou menor número de categorias completadas e maior número de erros perseverativos do que os grupos G20, G30, G40 e G50; ainda, o grupo G70 apresentou menor número de categorias completadas do que os grupos G20 e G30. O teste de Kruskal-Wallis também apontou diferenças entre os grupos para o TMT, sendo que o grupo G70 apresentou maior tempo para completar o teste do que os grupos G20, G30, G40 e G50.

Tabela 1. Médias, desvios-padrão e estatísticas dos dados demográficos, cognitivos e neuropsiquiátricos dos participantes (n=88).

Caracterização	G20	G30	G40	G50	G60	G70	Estatísticas
Sexo (M/F)	7/7	8/7	7/8	8/7	7/8	7/7	H=0,264; p=0,998
Idade (anos)	22,4±1,3	31,5±1,8	42,5±1,6	52,7±1,4	62,3±2,0	71,7±1,4	-
Altura (cm)	169,4±7,2	170,6±9,9	166,5±10,1	167,4±7,7	164,2±7,8	163,3±10,1	F=1,487; p=0,203
Peso corporal (kg)	68,8±7,3	70,5±16,3	68,1±9,0	79,9±18,3	76,3±12,5	78,0±15,4	F=2,013; p=0,085
Cognição global							
MoCA (0-30)	26,6±1,3	26,3±2,1	25,8±2,9	26,2±2,8	24,7±3,2	24,8±2,3	H=6,904; p=0,228
Função executiva							
TWCC (categorias)	5,1±1,0	4,7±1,6	4,2±1,7	4,4±1,2	2,6±1,1*#	3,0±0,8*	H=30,427; p<0,001
TWCC (erros perseverativos)	2,1±2,9	3,1±3,2	4,6±3,6	5,3±3,4	12,7±9,3*#	8,0±5,4	H=31,882; p<0,001
TWCC (falha no set)	0,4±0,9	0,3±0,5	0,3±0,6	0,3±0,5	0,3±0,5	0,7±0,8	H=4,299; p=0,507
TMT B-A (s)	34,6±34,4	33,0±36,9	38,3±34,1	29,9±16,0	65,9±34,9	78,8±39,5*#	H=25,226; p<0,001
Neuropsiquiátrico							
HAD ansiedade (0-21)	6,9±3,3	7,2±3,0	6,8±3,3	6,9±4,8	8,1±4,2	7,0±3,9	H=1,028; p=0,960
HAD depressão (0-21)	3,8±2,3	4,1±2,9	4,0±2,3	4,5±2,6	4,1±1,6	5,5±3,1	H=3,453; p=0,631

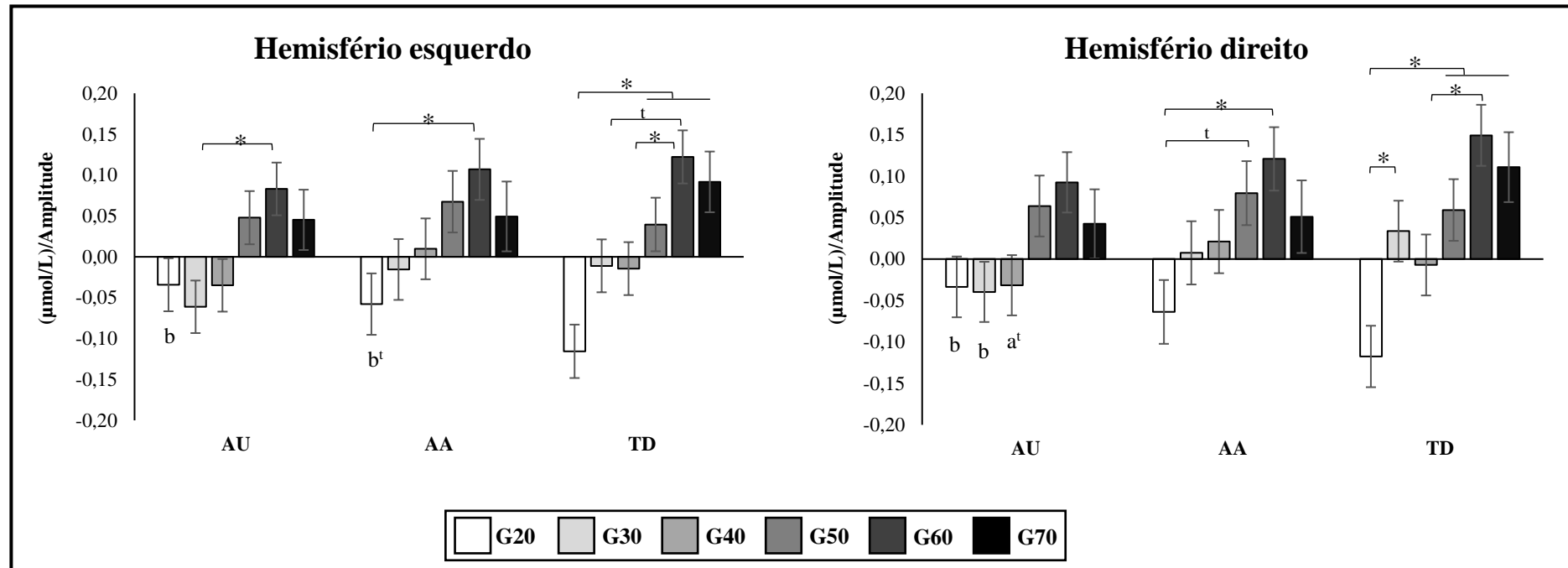
M: Masculino; F: Feminino; MoCA: Montreal Cognitive Assessment; TWCC: Teste Wisconsin de Classificação de Cartas; TMT: Trail Making Test; HAD: Escala Hospitalar de Ansiedade e Depressão; *: Indica diferença significativa para os grupos G20 e G30; #: Indica diferença significativa para os grupos G40 e G50.

5.2 Atividade do córtex pré-frontal

As ANCOVAs indicaram interação entre grupo e condição do andar para a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo ($F_{10,158} = 2,041$; $p = 0,032$) e direito ($F_{10,158} = 2,729$; $p = 0,004$) (Figura 5). Na condição de andar usual, testes *post hoc* indicaram maior nível de concentração de HbO₂ do hemisfério esquerdo no grupo G60 em comparação com o grupo G30 ($p = 0,002$). Na condição de andar adaptativo, testes *post hoc* indicaram maior concentração de HbO₂ do hemisfério esquerdo ($p = 0,003$) e direito ($p = 0,001$) no grupo G60 em comparação com o grupo G20; ainda, o grupo G50 apresentou tendência de maior concentração de HbO₂ do hemisfério direito em comparação com o grupo G20 ($p = 0,006$). Em relação ao andar com tarefa dupla, testes *post hoc* indicaram maior concentração de HbO₂ do hemisfério esquerdo e direito nos grupos G50 (esquerdo: $p = 0,001$; direito: $p < 0,001$), G60 (esquerdo: $p < 0,001$; direito: $p < 0,001$) e G70 (esquerdo: $p < 0,001$; direito: $p < 0,001$) em comparação com o grupo G20. Além disso, para o hemisfério esquerdo ($p = 0,003$) e direito ($p = 0,003$), o grupo G60 apresentou maior concentração de HbO₂ em comparação com o grupo G40 na condição de tarefa dupla; o grupo G60 também apresentou tendência de maior concentração de HbO₂ no hemisfério esquerdo em comparação com o grupo G30 ($p = 0,004$). Ainda, o grupo G30 apresentou maior concentração de HbO₂ em relação ao grupo G20 para o hemisfério direito ($p = 0,003$). Em relação as diferenças intragrupo (entre condições) no hemisfério esquerdo, testes *post hoc* indicaram que o grupo G20 apresentou menores concentrações de HbO₂ no andar com tarefa dupla em comparação com o andar usual ($p = 0,002$) e adaptativo ($p = 0,030^b$). No hemisfério direito, o grupo G20 ($p = 0,006$) e G30 ($p = 0,010$) apresentaram menores concentrações de HbO₂ no andar com tarefa dupla em comparação com o andar usual; e o grupo G40 apresentou menor concentração de HbO₂ no andar usual em comparação com o andar adaptativo ($p = 0,029^b$).

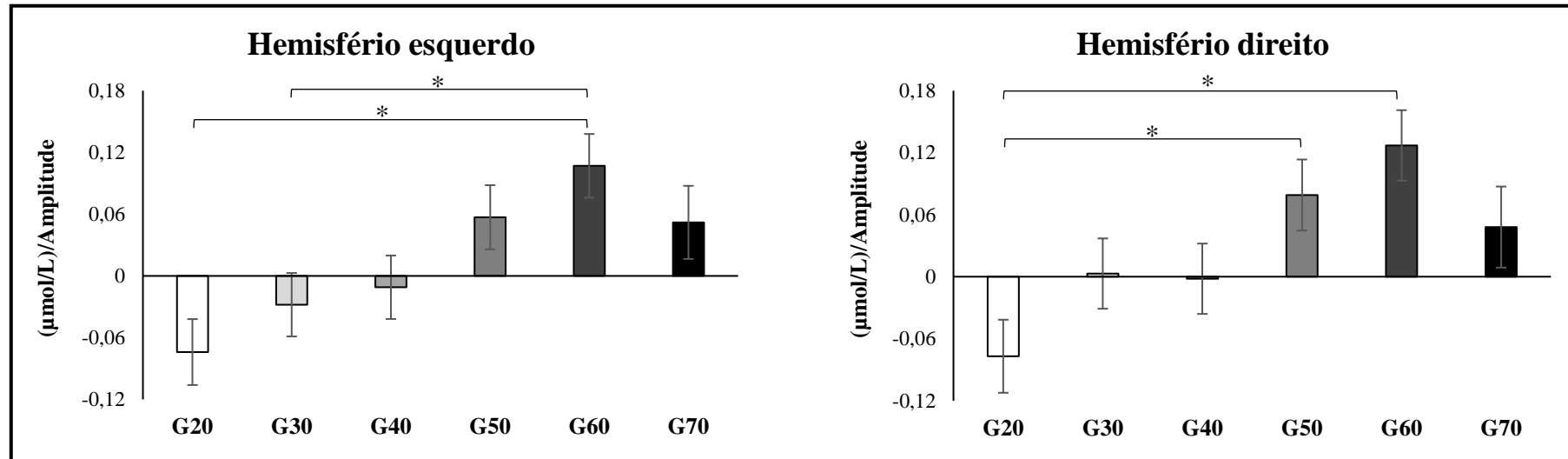
Além disso, ANCOVAs também indicaram efeito principal de grupo para a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo ($F_{5,79} = 4,437$; $p = 0,001$) e direito ($F_{5,79} = 4,185$; $p = 0,002$) (Figura 6). Testes *post hoc* indicaram que o grupo G60 apresentou maiores concentrações de HbO₂ em comparação com o grupo G20 ($p = 0,002$) e G30 ($p = 0,041$) no hemisfério esquerdo. Ainda, para o hemisfério direito, os grupos G50 ($p = 0,036$) e G60 ($p = 0,001$) apresentaram maiores concentrações de HbO₂ em comparação com o grupo G20. As ANCOVAs não indicaram efeito principal de condição para o hemisfério esquerdo ($F_{2,158} = 1,220$; $p = 0,298$) ou direito ($F_{2,158} = 1,611$; $p = 0,203$). Resultados estatísticos das ANCOVAs estão apresentadas no APÊNDICE A.

Figura 5. Interação grupo*condição para a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo e direito.



AU: andar usual; AA: andar adaptativo; TD: andar com tarefa dupla; * indica diferença significativa entre os grupos; † indica tendência de diferença entre os grupos; ^a indica diferença para AA; ^b indica diferença para TD.

Figura 6. Efeito principal de grupo para a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo e direito.

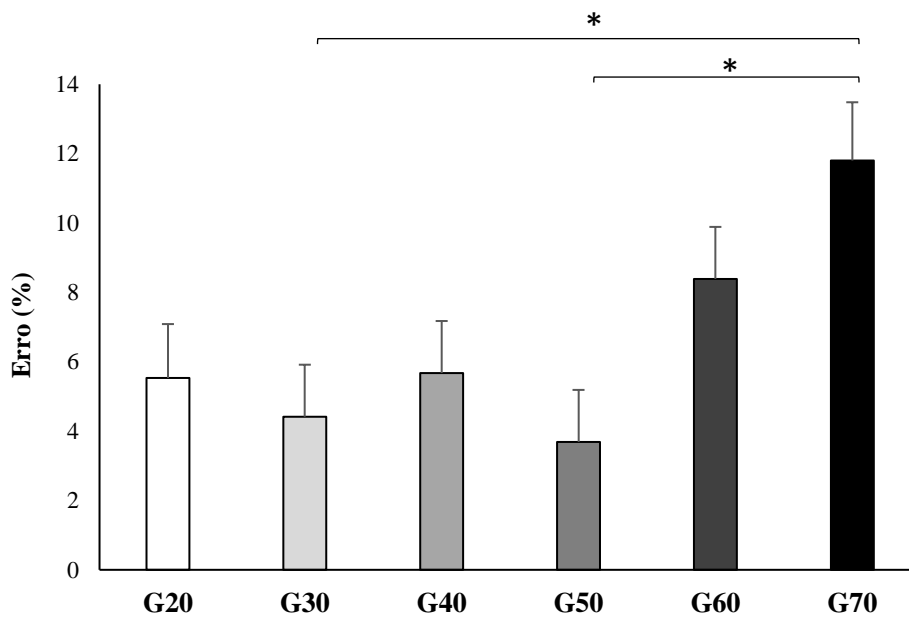


* indica diferença significativa entre os grupos.

5.3 Desempenho na tarefa cognitiva

A ANOVA two-way indicou efeito principal de grupo para o percentual de erro na tarefa cognitiva ($F_{5,80} = 3,537$; $p = 0,006$; Figura 7). Testes *post hoc* indicaram que o grupo G70 apresentou maiores percentuais de erro na tarefa cognitiva em comparação com os grupos G30 ($p = 0,023$) e G50 ($p = 0,008$). A ANOVA não indicou efeito principal de condição ($F_{1,80} = 2,448$; $p = 0,122$) ou interação entre os fatores ($F_{5,80} = 2,067$; $p = 0,078$). Cabe ressaltar que dois indivíduos do grupo G70 não conseguiram realizar a tarefa cognitiva, assim, foram excluídos desta análise.

Figura 7. Efeito principal de grupo dos percentuais de erro na tarefa cognitiva (condição baseline e andar com tarefa dupla).



5.4 Desempenho do andar

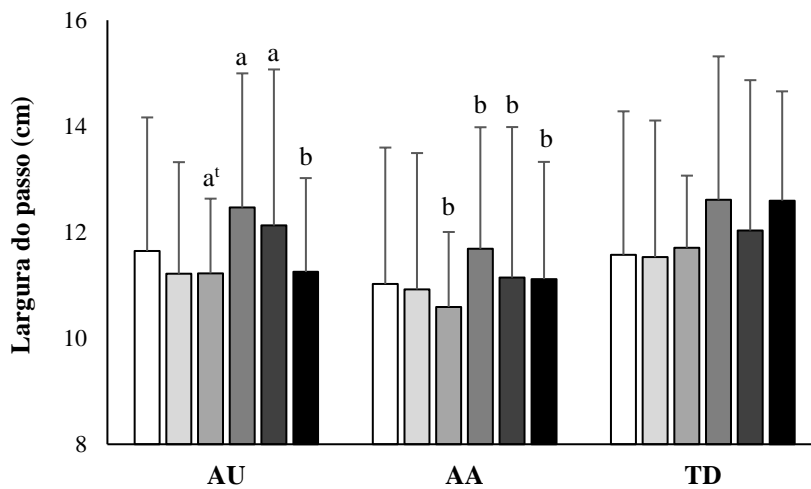
ANOVAs two-way revelaram interação entre grupo e condição para a largura do passo ($F_{10,160} = 2,067$; $p = 0,030$) e o CV do comprimento do passo ($F_{10,160} = 2,124$; $p = 0,025$) (Figura 8). Testes *post hoc* indicaram diferenças intragrupo para a largura do passo, sendo que os grupos G40, G50 e G60 apresentaram maior largura do passo no andar usual (G40: $p = 0,025^1$; G50: $p = 0,006$; G60: $p = 0,001$) e com tarefa dupla (G40: $p < 0,001$; G50: $p = 0,002$; G60: $p = 0,003$) em comparação com o andar adaptativo. Ainda, o grupo G70 apresentou maior largura na condição de andar com tarefa dupla em comparação com o andar usual ($p < 0,001$) e adaptativo ($p < 0,001$). Em relação ao CV do comprimento do passo, testes *post hoc* indicaram que o grupo G70 apresentou maior variabilidade do comprimento do passo no andar adaptativo e com tarefa dupla em comparação com os grupos G20 (andar adaptativo: $p = 0,001$; tarefa dupla: $p = 0,003$) e G30 (andar adaptativo: $p = 0,003$; tarefa dupla: $p = 0,006^1$). Além disso, todos os grupos apresentaram maior variabilidade do comprimento do passo no andar adaptativo em comparação com o andar usual (G20, G30, G40, G50, G60, G70: $p < 0,001$) e com tarefa dupla (G20, G30, G40, G50, G60, G70: $p < 0,001$).

A ANOVA verificou efeito principal de grupo para o comprimento do passo ($F_{5,80} = 2,869$; $p = 0,020$) e o CV do comprimento do passo ($F_{5,80} = 4,388$; $p = 0,001$) (Figura 9). Testes *post hoc* indicaram que o grupo G70 apresentou menor comprimento do passo em comparação com os grupos G30 ($p = 0,015$) e G50 ($p = 0,032$). Ainda, o grupo G70 apresentou maior variabilidade do comprimento do passo em relação aos grupos G20 ($p = 0,002$), G30 ($p = 0,005$) e G50 ($p = 0,025$). A ANOVA também revelou efeito principal de condição para velocidade ($F_{2,160} = 25,940$; $p < 0,001$), comprimento ($F_{2,160} = 12,134$; $p < 0,001$), duração ($F_{2,160} = 19,991$; $p < 0,001$), largura ($F_{2,160} = 35,686$; $p < 0,001$), CV da velocidade ($F_{2,160} = 11,631$; $p < 0,001$), CV do comprimento ($F_{2,160} = 217,998$; $p < 0,001$), CV da duração ($F_{2,160} = 14,038$; $p < 0,001$) e CV da largura do passo ($F_{2,160} = 24,024$; $p < 0,001$) (Tabela 2). Testes *post hoc* indicaram maior velocidade ($p = 0,004$), comprimento ($p = 0,001$) e largura do passo ($p < 0,001$); e menores CVs da velocidade ($p < 0,001$), comprimento ($p < 0,001$), duração ($p < 0,001$) e largura do passo ($p = 0,001$) no andar usual em comparação com o andar adaptativo. Além disso, os testes *post hoc* indicaram maior velocidade ($p < 0,001$) e comprimento ($p < 0,001$) do passo; e menor duração ($p < 0,001$) e largura ($p = 0,001$) do passo no andar usual em comparação com o andar com tarefa dupla. Ainda, foi verificada maior velocidade ($p = 0,002$), CV da velocidade ($p = 0,017$), CV do comprimento ($p < 0,001$), CV da duração ($p = 0,001$) e CV da largura ($p < 0,001$); e menor duração ($p < 0,001$) e largura ($p < 0,001$) do passo no andar adaptativo em comparação com o andar com tarefa dupla. Valores de média e desvios-padrão das variáveis do andar estão

apresentadas na Tabela 3; e resultados das ANOVAs das variáveis do andar estão apresentados no APÊNDICE B.

Figura 8. Interação grupo*condição para a) largura do passo e b) CV do comprimento do passo. *indica diferença significativa entre os grupos, † indica tendência significativa, ^a indica diferença significativa para AA; ^b indica diferença significativa para TD.

a)



b)

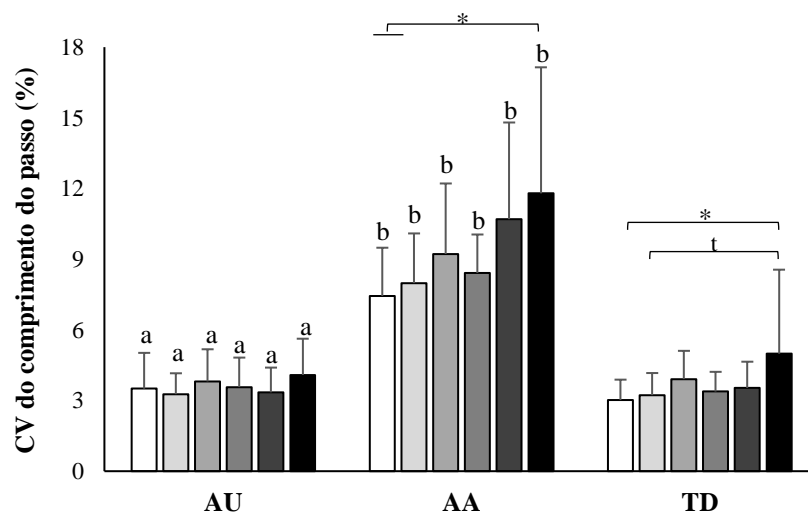


Figura 9. Efeito principal de grupo para a) comprimento do passo e b) CV do comprimento do passo. *indica diferença significativa entre os grupos.

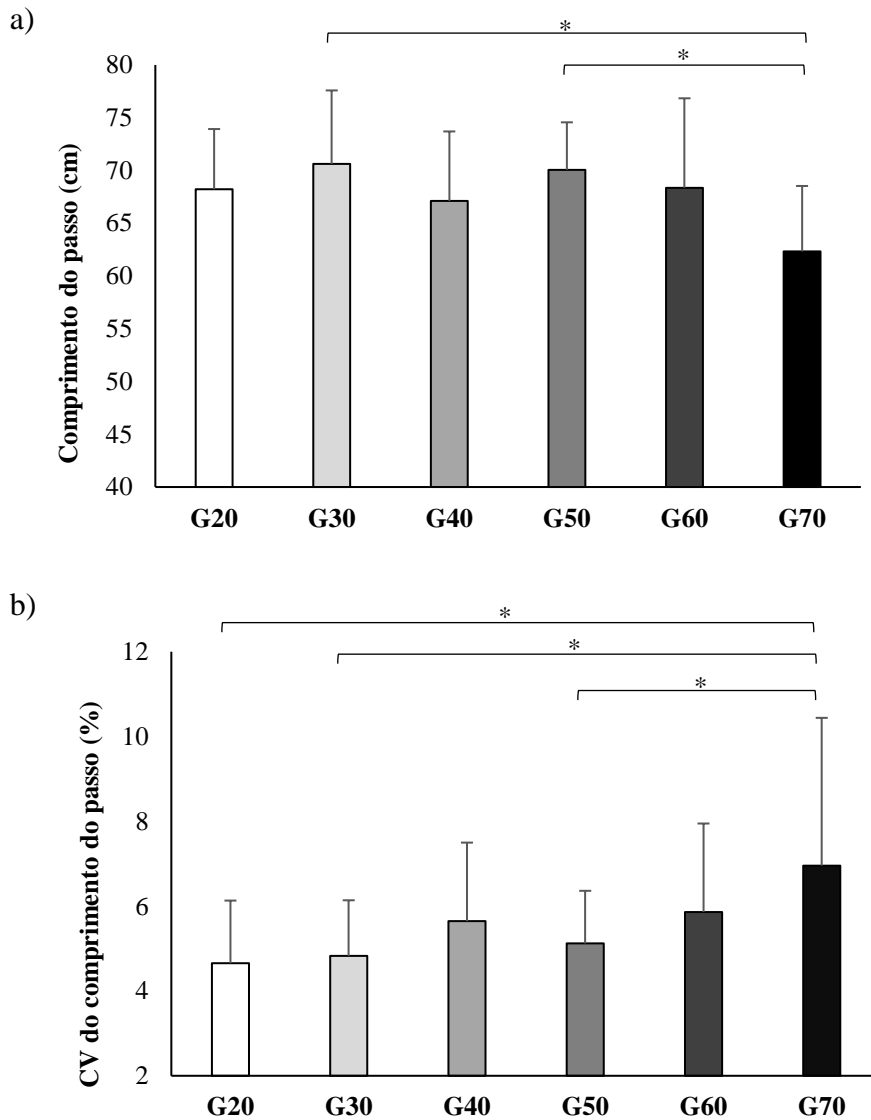


Tabela 2. Efeito principal de condição das variáveis do andar.

Variáveis do andar	Efeito principal de condição
Velocidade do passo (cm/s)	AU>AA>TD
Comprimento do passo (cm)	AU>AA, TD
Duração do passo (s)	TD>AU, AA
Largura do passo (cm)	AA<AU<TD
CV da velocidade do passo (%)	AA>AU, TD
CV do comprimento do passo (%)	AA>AU, TD
CV da duração do passo (%)	AA>AU, TD
CV da largura do passo (%)	AA>AU>TD

Tabela 3. Médias e desvios-padrão das variáveis do andar nas condições de andar usual (AU), adaptativo (AA) e tarefa dupla (TD).

Variáveis do andar		G20	G30	G40	G50	G60	G70
AU	Velocidade do passo (cm/s)	125,4±14,0	130,1±13,6	130,8±17,4	134,5±15,8	132,0±17,0	118,6±16,3
	Comprimento do passo (cm)	68,7±5,4	71,0±6,8	68,2±6,3	70,8±4,5	70,1±8,1	63,7±6,0
	Duração do passo (s)	0,55±0,03	0,55±0,05	0,52±0,04	0,53±0,04	0,53±0,04	0,54±0,08
	Largura do passo (cm)	11,65±2,52	11,22±2,10	11,22±1,41	12,47±2,53	12,13±2,94	11,25±1,77
	Velocidade do passo (%)	5,59±1,70	7,29±7,69	5,39±0,84	6,21±1,82	5,91±1,59	5,52±1,68
	Comprimento do passo (%)	3,50±1,52	3,27±0,89	3,81±1,36	3,57±1,25	3,35±1,05	4,08±1,54
	Duração do passo (%)	3,38±1,11	4,38±3,88	3,51±0,92	3,91±1,61	5,03±3,47	3,79±1,46
	Largura do passo (%)	33,03±9,86	34,88±6,16	31,61±9,62	29,75±9,01	32,89±8,38	36,23±10,84
AA	Velocidade do passo (cm/s)	125,5±14,1	129,2±12,7	129,5±15,3	134,2±16,5	126,5±16,9	115,4±19,3
	Comprimento do passo (cm)	68,8±5,8	70,7±7,1	67,2±7,0	69,8±4,4	66,7±9,6	61,3±5,9
	Duração do passo (s)	0,55±0,04	0,55±0,05	0,52±0,04	0,53±0,05	0,53±0,05	0,54±0,08
	Largura do passo (cm)	11,02±2,58	10,92±2,57	10,59±1,41	11,69±2,29	11,15±2,84	11,12±2,21
	Velocidade do passo (%)	7,26±1,98	8,78±8,38	8,07±2,32	7,66±0,91	9,36±2,70	10,08±5,29
	Comprimento do passo (%)	7,44±2,04	7,98±2,11	9,22±2,99	8,41±1,63	10,70±4,10	11,79±5,35
	Duração do passo (%)	4,91±1,77	5,95±3,49	4,95±1,17	5,08±1,07	5,96±1,90	6,30±2,30
	Largura do passo (%)	36,40±10,20	35,58±8,50	33,48±7,51	34,19±7,02	36,02±7,97	39,53±10,92
TD	Velocidade do passo (cm/s)	121,1±14,9	127,6±14,8	124,8±18,7	132,1±15,1	124,8±17,8	112,1±16,2
	Comprimento do passo (cm)	67,2±6,0	70,2±7,0	66,0±6,5	69,5±4,6	68,2±7,7	61,9±6,6
	Duração do passo (s)	0,56±0,04	0,55±0,05	0,53±0,04	0,53±0,04	0,55±0,04	0,56±0,08
	Largura do passo (cm)	11,57±2,71	11,53±2,58	11,71±1,36	12,61±2,70	12,03±2,84	12,60±2,06
	Velocidade do passo (%)	4,77±1,32	8,75±9,86	6,71±2,49	6,32±2,42	6,04±2,39	7,07±2,64
	Comprimento do passo (%)	3,02±0,87	3,23±0,94	3,91±1,20	3,38±0,83	3,53±1,11	4,99±3,57
	Duração do passo (%)	3,12±1,04	4,68±4,52	4,39±1,96	4,26±2,10	3,93±1,72	5,02±1,55
	Largura do passo (%)	28,93±7,69	32,27±9,21	28,17±9,71	27,72±7,75	32,72±6,41	33,69±7,11

5.5 Associações entre atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar e cognitivas

Os valores estatísticos (índice de correlação e nível de significância) das análises de correlação entre a atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar e cognitivas são apresentadas na Tabela 4. A Figura 10 ilustra as associações observadas.

5.5.1 Associação entre a atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar usual e cognitivas.

Testes de correlação de Pearson indicaram correlação positiva entre o CV da duração do passo e a concentração de HbO₂ do hemisfério direito ($p = 0,029$), sendo que quanto maior a variabilidade da duração do passo, maior é a concentração de HbO₂ do hemisfério direito no andar usual. Em relação as variáveis cognitivas, os testes de correlação identificaram correlações negativas entre a função executiva e a concentração de HbO₂ do hemisfério esquerdo ($p = 0,029$) e direito ($p = 0,008$), sendo que quanto pior a função executiva do participante, maior é a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo e direito no andar usual.

5.5.2 Associação entre a atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar adaptativo e cognitivas.

Testes de correlação de Pearson indicaram correlações negativas entre a largura do passo e a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo ($p = 0,040$) e direito ($p = 0,045$), sendo que quanto maior a largura do passo, menor é a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo e direito no andar adaptativo. Em relação as variáveis cognitivas, os testes de correlação identificaram correlação negativa entre a função executiva e a concentração de HbO₂ do hemisfério direito ($p = 0,014$), sendo que quanto pior a função executiva do participante, maior é a concentração de HbO₂ do hemisfério direito no andar adaptativo.

5.5.3 Associação entre a atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar com tarefa dupla e cognitivas.

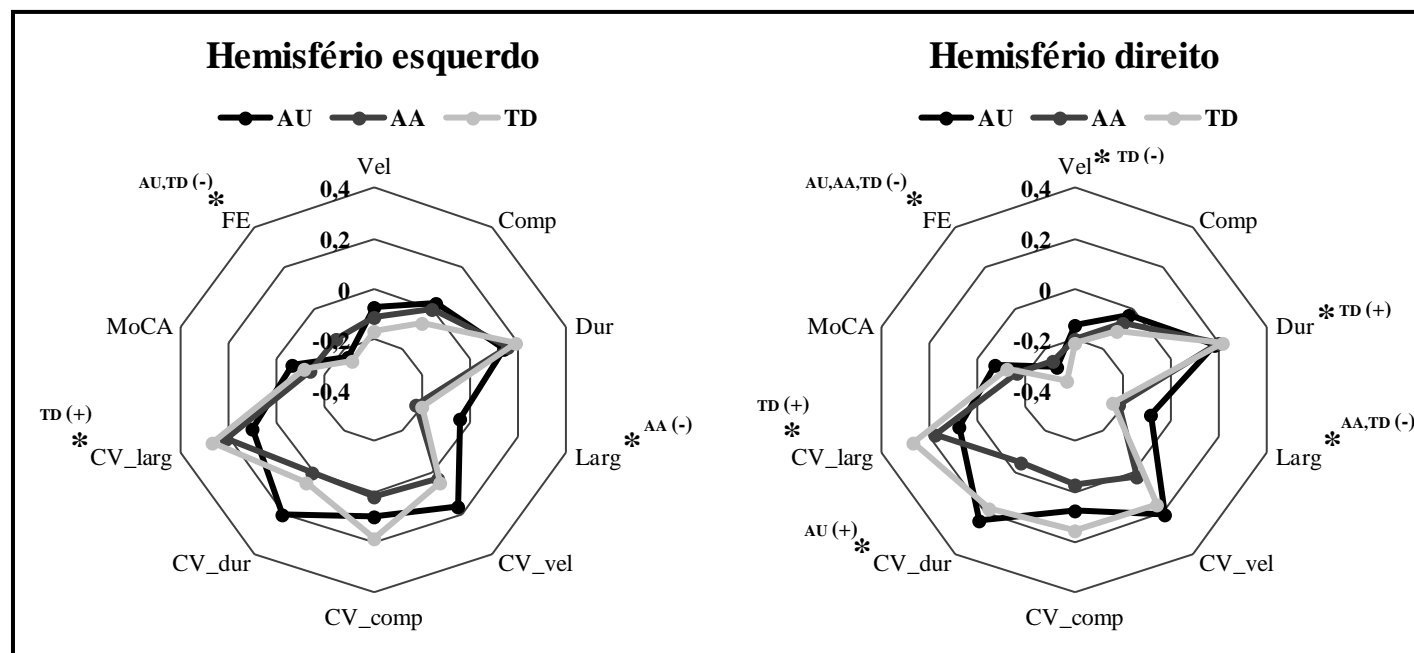
Testes de correlação de Pearson indicaram correlações positivas entre duração do passo e a concentração de HbO₂ do hemisfério direito ($p = 0,045$) e CV da largura do passo e a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo ($p = 0,014$) e direito ($p = 0,013$). Assim, quanto maior a duração do passo, maior é a concentração de HbO₂ do hemisfério direito no andar com

tarefa dupla; e quanto maior a variabilidade da largura do passo, maior é a concentração de HbO₂ dos hemisférios direito e esquerdo no andar com tarefa dupla. Além disso, testes de correlação identificaram correlações negativas entre a velocidade ($p = 0,044$) e largura do passo ($p = 0,029$) e a concentração de HbO₂ do hemisfério direito, sendo que quanto maior a velocidade e largura do passo, menor é a concentração de HbO₂ do hemisfério direito no andar com tarefa dupla. Em relação as variáveis cognitivas, os testes de correlação identificaram correlação negativa entre a função executiva e a concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo ($p = 0,017$) e direito ($p = 0,001$), sendo que quanto pior a função executiva do participante, maior é concentração de HbO₂ de ambos os hemisférios no andar com tarefa dupla.

Tabela 4. Correlações de Pearson entre as diferenças na concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo e direito e as variáveis do andar e cognitivas. * $p < 0,05$

Variáveis		Andar usual		Andar adaptativo		Andar com tarefa dupla	
		Hemisfério esquerdo	Hemisfério direito	Hemisfério esquerdo	Hemisfério direito	Hemisfério esquerdo	Hemisfério direito
Velocidade do passo	r	-0,072	-0,139	-0,113	-0,201	-0,167	-0,217
	p	0,504	0,196	0,296	0,060	0,124	0,044*
Comprimento do passo	r	0,022	-0,028	-0,006	-0,076	-0,071	-0,112
	p	0,842	0,793	0,956	0,482	0,515	0,303
Duração do passo	r	0,142	0,187	0,155	0,203	0,194	0,217
	p	0,186	0,081	0,149	0,058	0,074	0,045*
Largura do passo	r	-0,044	-0,078	-0,219	-0,214	-0,197	-0,236
	p	0,681	0,473	0,040*	0,045*	0,069	0,029*
CV da velocidade do passo	r	0,166	0,208	0,033	0,020	0,048	0,161
	p	0,123	0,052	0,760	0,851	0,663	0,138
CV do comprimento do passo	r	0,096	0,076	0,016	-0,027	0,187	0,153
	p	0,376	0,483	0,885	0,802	0,085	0,160
CV da duração do passo	r	0,204	0,232	0,002	-0,044	0,053	0,173
	p	0,057	0,029*	0,988	0,683	0,630	0,112
CV da largura do passo	r	0,098	0,072	0,207	0,178	0,265	0,266
	p	0,363	0,506	0,053	0,098	0,014*	0,013*
MoCA (z score)	r	-0,069	-0,073	-0,140	-0,166	-0,114	-0,120
	p	0,524	0,501	0,194	0,121	0,296	0,271
Função executiva (z score)	r	-0,232	-0,281	-0,146	-0,260	-0,256	-0,351
	p	0,029*	0,008*	0,176	0,014*	0,017*	0,001*

Figura 10. Ilustração das associações entre as diferenças na concentração de HbO₂ dos hemisférios esquerdo e direito e as variáveis do andar (AU: andar usual; AA: andar adaptativo; TD: andar com tarefa dupla) e cognitivas.



Vel: velocidade do passo; Comp: comprimento do passo; Dur: duração do passo; Larg: largura do passo; CV_vel: variabilidade da velocidade do passo; CV_comp: variabilidade do comprimento do passo; CV_dur: variabilidade da duração do passo; CV_larg: variabilidade da largura do passo; MoCA: *Montreal Cognitive Assessment* (z score); FE: função executiva (z score); *indica correlação significativa; (-) indica correlação negativa; (+) indica correlação positiva.

6 DISCUSSÃO

O presente estudo investigou os efeitos do envelhecimento na atividade do córtex pré-frontal durante o andar usual, adaptativo e com tarefa dupla. Os resultados do estudo indicaram que o processo de envelhecimento acarreta em maior ativação do córtex pré-frontal durante o andar, e o momento (faixa etária) em que ocorre essa maior ativação do córtex pré-frontal é dependente da condição do andar. Além disso, este estudo analisou a associação entre a atividade cortical e medidas do andar e de funções cognitivas. Os achados corroboram com a nossa hipótese de que a menor ativação do córtex pré-frontal está relacionada com uma melhor performance do andar e função cognitiva (função executiva).

6.1 Efeito do envelhecimento na atividade do córtex pré-frontal no andar

O processo de envelhecimento provoca aumento na atividade do córtex pré-frontal durante o andar. Este aumento é influenciado pela tarefa locomotora realizada. Os achados deste estudo apontaram que a ativação do córtex pré-frontal ocorreu de maneira gradativa com o processo de envelhecimento (grupos etários). Este resultado confirma a ideia de Herold *et al.* (2017) de que com a perda da automaticidade decorrente do processo de envelhecimento, ocorre uma maior utilização da via indireta do controle do andar, ou seja, maior utilização do córtex pré-frontal. Assim, esta maior ativação do córtex pré-frontal de idosos durante o andar é uma forma de compensação neural, na qual é necessário recrutamento de recursos cognitivos adicionais a fim de manter a performance do andar. A utilização da via indireta do controle do andar a fim de compensar alguma ineficiência neuromotora decorrente do envelhecimento foi relativamente eficiente até a sexta década de vida. No andar usual, verificamos que o grupo G60 apresentou maior ativação do córtex pré-frontal em comparação com o grupo G30, fator que sugere que os idosos a partir dos 60 anos necessitam maior recrutamento do córtex pré-frontal para a tarefa de andar como forma de compensação devido ao processo de envelhecimento. Na condição de andar adaptativo, além dos idosos do grupo G60 apresentarem maior ativação do córtex pré-frontal em comparação com os jovens do grupo G20, nós verificamos que indivíduos do grupo G50 apresentaram uma tendência de aumento na ativação do córtex pré-frontal em comparação com os jovens (G20). Este achado sugere que já a partir dos 50 anos pode ocorrer uma maior necessidade da utilização do córtex pré-frontal para manter a performance do andar durante a ultrapassagem de obstáculos. Ainda, na condição de andar com tarefa dupla, esse aumento na ativação do córtex pré-frontal foi observado ainda mais cedo durante o processo de

envelhecimento. Nesta condição, os indivíduos do grupo G30 já apresentaram maior ativação do córtex pré-frontal em comparação com o grupo G20, demonstrando que com o aumento da complexidade da tarefa, é necessária maior ativação do córtex pré-frontal a fim de manter a performance na tarefa.

O uso da via indireta de controle do andar como mecanismo compensatório se torna ineficiente a partir da sétima década de vida. Considerando a perda da automaticidade do andar com o envelhecimento, esperávamos encontrar maior ativação do córtex pré-frontal (via indireta) no grupo G70. Porém, diferenças entre os idosos do grupo G70 e jovens do grupo G20 só foram observadas na condição de andar com tarefa dupla, enquanto no andar usual e adaptativo as diferenças foram observadas apenas para o grupo G60. Dessa forma, verificamos um aumento contínuo da resposta hemodinâmica durante o andar com o envelhecimento até o grupo G60, e ao contrário, um padrão menos linear de ativação foi encontrado para o grupo G70. Esse resultado é consistente com o modelo CRUNCH (*Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis*), que sugere aumento na ativação cortical à medida que a carga da tarefa aumenta (REUTER-LORENZ; CAPPELL, 2008). Conforme a demanda da tarefa aumenta, um teto de recursos pode ser alcançado levando a um processamento insuficiente e uma diminuição no desempenho da tarefa (CAUSSE; CHUA; REMY, 2019). Dessa forma, os idosos do grupo G60 foram capazes de aumentar a ativação do córtex pré-frontal durante o andar a fim de manutenção do desempenho. Em contrapartida, os idosos do grupo G70 não conseguiram aumentar a ativação do córtex pré-frontal com o intuito de manter o desempenho do andar, fator que sugere que um teto de recursos pode ter sido alcançado nesta faixa etária já em situações mais simples, como no andar usual.

A atividade do córtex pré-frontal em um ou ambos os hemisférios durante o andar parece ser influenciada pela complexidade da tarefa. Embora uma análise de comparação entre os hemisférios esquerdo e direito não tenha sido realizada, foi observada diferença significativa apenas para o hemisfério esquerdo na condição de andar usual, enquanto nas condições de andar adaptativo e tarefa dupla as diferenças ocorreram para ambos hemisférios. Uma possível explicação é que há a necessidade da utilização de ambos os hemisférios (maior recrutamento de áreas pré-frontais) a fim de manter o desempenho da tarefa quando a complexidade da tarefa aumenta. Por outro lado, de acordo com Vanderhasselt *et al.* (2009), o córtex pré-frontal esquerdo está relacionado com a função executiva, enquanto o córtex pré-frontal direito está relacionado a ajustes em um contexto de conflito. Dessa forma, considerando o andar usual, seria esperado que as mudanças na ativação do córtex pré-frontal se concentrassem no hemisfério esquerdo, enquanto no andar adaptativo e com tarefa dupla, que são tarefas mais

complexas e que necessitam de ajustes, as mudanças no córtex pré-frontal foram observadas para ambos hemisférios.

Em relação as diferenças intragrupo, foi possível observar que apenas os grupos mais novos (G20 e G30) apresentaram diferenças entre andar usual e andar com tarefa dupla. Curiosamente, o comportamento desses dois grupos foi diferente para cada condição do andar, sendo que o G20 apresentou menor ativação do córtex pré-frontal no andar com tarefa dupla em relação ao andar usual; e o G30 apresentou um comportamento contrário. Considerando a ideia de compensação neural com aumento da complexidade da tarefa, era esperado que os grupos apresentassem maior ativação do córtex pré-frontal no andar com tarefa dupla, como observado no grupo G30. Porém, estudos com jovens verificaram que a ativação do córtex pré-frontal em resposta ao andar com tarefa dupla não apresentaram mudanças ou até mesmo diminuíram (BEURSKENS *et al.*, 2014; LIN; LIN, 2016). Ainda, a diferença na concentração de HbO₂ exibindo um valor negativo, ou seja, menor atividade do córtex pré-frontal durante o andar em relação ao repouso em pé também foi observado por Hawkins *et al.* (2018). Estes achados podem ser explicados por alguns fatores. Primeiro, pode ser que níveis mais elevados de HbO₂ durante o repouso em pé reflitam níveis elevados de atenção e planejamento durante a preparação da tarefa (CLARK *et al.*, 2014; HAWKINS *et al.*, 2018; HOLTZER *et al.*, 2015). Outro possível fator é que o jovem não requer ativação adicional do córtex pré-frontal, podendo utilizar outras áreas (por exemplo, córtex motor) envolvidas no controle do andar (PELICIONI *et al.*, 2019). Assim, a liberação de HbO₂ para o córtex pré-frontal é reduzida à medida que o sangue é desviado para outras regiões importante no andar (BEURSKENS *et al.*, 2014; HAWKINS *et al.*, 2018).

6.2 Desempenho cognitivo e do andar

O envelhecimento provoca comprometimento nas funções executivas. Todos os grupos apresentaram pontuações semelhantes no MoCA (cognição global). Porém, os grupos G60 e G70 foram os que apresentaram pior função executiva. Esse resultado confirma que o processo de envelhecimento acarreta em alterações no desempenho cognitivo, como piora na função executiva. Piores funções cognitivas podem se originar de alterações estruturais e/ou funcionais do cérebro, que são características comuns até mesmo no envelhecimento saudável (DEMNITZ *et al.*, 2017; FAN *et al.*, 2019). Em relação ao desempenho na tarefa cognitiva nas condições baseline e de andar com tarefa dupla, os resultados apontaram apenas efeito de grupo, sendo que o grupo G70 demonstrou maior percentual de erro na tarefa cognitiva em relação aos

grupos G30 e G50. Considerando que a tarefa cognitiva utilizada envolvia atenção e memória (capacidades da função executiva), na qual o participante deveria identificar se o número era ímpar ou par, contar e ainda memorizar quantos números conseguiu contar, o grupo G70 pode ter apresentado pior desempenho por já apresentar pior função executiva.

Os participantes priorizaram a tarefa cognitiva em detrimento do andar na condição de tarefa dupla. Tal estratégia pode ser particularmente ruim ou perigosa para indivíduos com déficits executivos e atencionais. Para a tarefa cognitiva, os resultados não apontaram efeito principal de condição (baseline na posição sentada e andar com tarefa dupla) ou interação entre os fatores. Para as medidas de andar, em comparação com o andar usual, todos os grupos reduziram a velocidade do andar e o comprimento do passo na condição de tarefa dupla. Estes resultados sugerem que os indivíduos priorizaram a tarefa cognitiva na condição de tarefa dupla. Entretanto, o grupo G70 apresentou maior CV do comprimento do passo em comparação com outros grupos etários na condição de tarefa dupla, mas não no andar usual. Como o aumento da variabilidade do andar está associado com o risco de quedas (HAMACHER *et al.*, 2011; HAUSDORFF *et al.*, 1997; HAUSDORFF; RIOS; EDELBERG, 2001; OSOBA *et al.*, 2019), a priorização da tarefa cognitiva pode ter aumentado o risco de quedas nos indivíduos do grupo G70.

Em relação ao desempenho do andar, os resultados apresentaram interação entre os fatores grupo e condição para largura do passo e CV do comprimento do passo. Os grupos G40, G50 e G60 apresentaram menor largura do passo na condição de andar adaptativo em comparação com o andar usual. Essa diminuição na largura do passo no andar adaptativo (fase de aproximação) pode estar associada com ajustes realizados como forma de planejamento para a realização da ultrapassagem do obstáculo. Ainda, os grupos G40, G50, G60 e G70 apresentaram maior largura do passo no andar com tarefa dupla em comparação com o andar adaptativo. Este achado está em conformidade com o estudo de Gabriner *et al.* (2018), no qual verificou que o aumento da largura do passo está relacionado com uma demanda atencional maior da tarefa, como andar com tarefa dupla. Além disso, todos os grupos apresentaram maior variabilidade do comprimento do passo na condição de andar adaptativo em relação ao andar usual e com tarefa dupla. A ultrapassagem de obstáculos é uma tarefa conduzida externamente e envolve planejamento espacial e temporal dos passos em relação ao obstáculo (MIRELMAN *et al.*, 2017). Dessa forma, todos os grupos podem ter apresentado maior variabilidade do comprimento do passo como uma forma de ajuste no planejamento da ultrapassagem, principalmente considerando que foram analisados os passos da fase de aproximação do obstáculo.

Os resultados também apontaram efeito principal de grupo no qual o grupo G70 apresentou menor comprimento do passo em comparação com os grupos G30 e G50; e maior variabilidade do comprimento do passo em comparação com os grupos G20, G30 e G50. Esses achados confirmam que o processo de envelhecimento acarreta em alterações do andar. Além disso, o efeito principal de condição verificou que, de modo geral, a velocidade, comprimento, duração e largura do passo são mais afetados no andar com tarefa dupla, enquanto as variabilidades são mais afetadas no andar adaptativo. Esses achados corroboram com a literatura, mostrando que alterações nos parâmetros do andar são mais pronunciadas durante tarefas mais desafiadoras, como a ultrapassagem de obstáculos e andar com tarefa dupla (MAIDAN *et al.*, 2018a; MIRELMAN *et al.*, 2018; PAN *et al.*, 2016)

De modo geral, o grupo G70 foi aquele que apresentou pior desempenho cognitivo e do andar. Esse resultado sustenta o modelo CRUNCH apresentado anteriormente. O grupo G70 não conseguiu aumentar a ativação do córtex pré-frontal a fim de manter o desempenho do andar. Por outro lado, os resultados não apontaram diferenças significativas para os outros grupos (G20 a G60) em relação ao andar. Dessa forma, até a sexta década de vida os indivíduos foram capazes de aumentar a ativação do córtex pré-frontal durante o andar a fim de manter o desempenho do andar. Ainda, como forma de compensação, o grupo G60 foi capaz de aumentar a ativação do córtex pré-frontal durante o andar para a manutenção do desempenho do andar.

6.3 Associações entre atividade do córtex pré-frontal e variáveis do andar e cognitivas

Os achados corroboram com a nossa hipótese de que a menor ativação do córtex pré-frontal está relacionada com melhor performance do andar. Embora tenham sido verificados resultados significativos, cabe destacar que os níveis de correlações encontrados foram baixos. Na condição de andar usual, a variabilidade da duração do passo foi positivamente correlacionada com a concentração de HbO₂ do hemisfério direito, ou seja, quanto maior a variabilidade da duração do passo, maior foi a atividade do córtex pré-frontal direito. A variabilidade do andar aumentada neste caso (andar usual) pode ser interpretada como uma pior performance do andar, visto que a variabilidade de movimento durante condições inalteradas é entendida como um erro no controle sensório-motor do movimento humano (HAMACHER *et al.*, 2017). Assim, pode ser que indivíduos que apresentaram aumento da variabilidade da duração do passo no andar usual necessitem de maior ativação do córtex pré-frontal como forma de compensação neural devido à pior performance locomotora. Na condição de andar com tarefa dupla, a velocidade do passo apresentou uma correlação negativa com a concentração de HbO₂

do hemisfério direito, enquanto a duração do passo apresentou uma correlação positiva com a concentração de HbO₂ do hemisfério direito. Ainda, a variabilidade da largura do passo apresentou correlação positiva com a concentração de ambos hemisférios. Em conjunto, esses resultados confirmam a hipótese de compensação neural, na qual indivíduos com pior performance do andar, como menor velocidade do passo e maior duração do passo e variabilidade da largura do passo necessitam de maior ativação do córtex pré-frontal como forma de compensação neural para realização da tarefa.

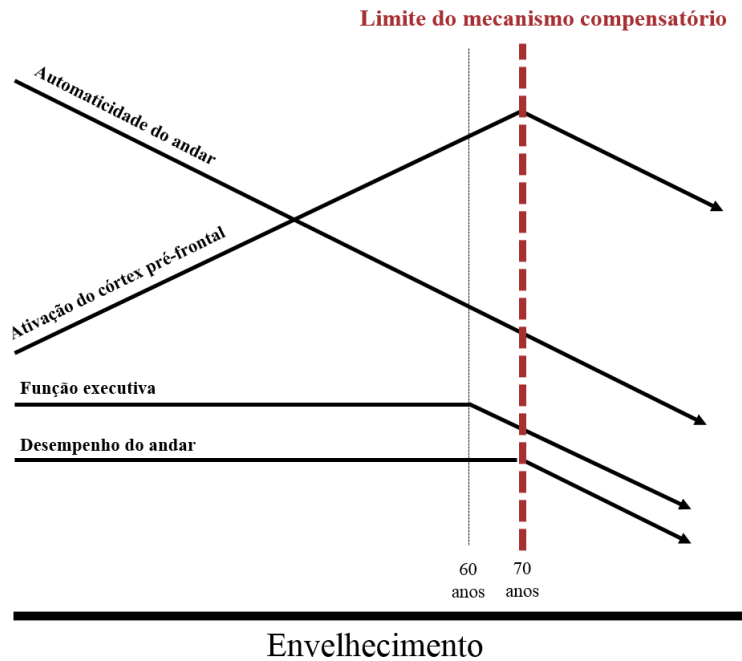
Em relação à cognição, os resultados apontaram correlações negativas entre a função executiva e a concentração de HbO₂ do córtex pré-frontal no andar usual (ambos os hemisférios), andar adaptativo (hemisfério direito), e andar com tarefa dupla (ambos hemisférios). A cognição (função executiva) desempenha um papel importante no andar seguro, sobretudo em tarefas mais desafiadoras como andar com ultrapassagem de obstáculos e tarefa dupla (MIRELMAN *et al.*, 2012). Dessa forma, sugere-se que indivíduos que apresentaram pior função executiva apresentaram maior ativação do córtex pré-frontal como forma de compensação neural, a fim de manter o desempenho do andar.

6.4 Uma interpretação integrada dos resultados: Atividade do córtex pré-frontal no andar e desempenho cognitivo e do andar

A Figura 11 ilustra uma proposta de interpretação integrada dos resultados em relação ao efeito do envelhecimento na atividade do córtex pré-frontal durante o andar, função executiva e desempenho do andar. Tais resultados sugerem que o processo de envelhecimento acarreta em aumento da ativação do córtex pré-frontal durante o andar. Este aumento provavelmente é parte de um mecanismo compensatório para a diminuição da automaticidade do andar que ocorre com o envelhecimento (HEROLD *et al.*, 2017). Níveis adequados de função executiva são necessários para a eficiência do mecanismo compensatório. No presente estudo, a função executiva começou a piorar a partir dos 60 anos e os comprometimentos ficaram ainda mais acentuados nos 70 anos; e o desempenho do andar também foi prejudicado nos 70 anos. Então, é possível sugerir que o mecanismo compensatório foi eficiente durante o processo de envelhecimento até os 60 anos. Os idosos foram capazes de aumentar a ativação do córtex pré-frontal a fim de manter o desempenho do andar. Porém, a partir dos 70 anos, os indivíduos não foram capazes de aumentar significativamente a ativação do córtex pré-frontal durante o andar (em comparação com grupos mais jovens), sugerindo que o limite de capacidade do mecanismo compensatório é atingido na sexta década de vida. Assim, o

mecanismo compensatório perdeu eficiência e déficits nos parâmetros do andar foram observados no grupo G70.

Figura 11. Representação do efeito do envelhecimento na atividade do córtex pré-frontal durante o andar, função executiva e desempenho do andar.



6.5 Limitações e implicação prática

O tamanho total da amostra do estudo é grande, porém, o número de indivíduos de cada faixa etária (15) nos limita a discutir os resultados apenas para esse grupo restrito de indivíduos. Assim, os achados deste estudo devem ser tratados com cautela a fim de não generalizar as interpretações a toda a população dessas faixas etárias. Além disso, este estudo não considerou os últimos 5 anos de cada faixa etária (25-30, 35-40 anos...) e indivíduos acima de 75 anos, restringindo os resultados apenas para uma parte de cada faixa etária e para a população idosa até os 75 anos. Mais estudos devem ser realizados a fim de verificar os efeitos da atividade do córtex pré-frontal no envelhecimento considerando todas as faixas etárias. Ainda, estudos longitudinais para o acompanhamento do envelhecimento populacional são necessários. Cabe destacar que diferenças individuais, como estilo de vida, prática de atividade física, condições das funções sensório-motoras, cognitivas, entre outros devem ser levadas em consideração na interpretação dos resultados, tendo em vista que apenas a idade cronológica pode não ser uma

medida confiável única do processo de envelhecimento. O sistema de fNIRS utilizado incluiu 8 canais posicionados somente no córtex pré-frontal, fator que limita a determinação de padrões de ativação de outras áreas dos circuitos locomotores, como área motora suplementar e córtex motor primário. Ainda, como não foi controlada mudanças hemodinâmicas superficiais do escalpo não podemos descartar possíveis contaminações superficiais no sinal. Porém, filtros foram utilizados para minimizar esses efeitos de acordo com sugestões de um estudo recente de Vitório *et al.* (2017). Apesar das limitações, este estudo apresentou alguns avanços, como a inclusão de grupos de meia idade; a realização do andar no solo, permitindo maior validade ecológica; e a utilização de uma tarefa cognitiva essencialmente cognitiva, não envolvendo componentes motores como a fala, o que poderia afetar os sinais do fNIRS.

Considerando que o processo de envelhecimento acarreta em comprometimentos locomotores, a compreensão da atividade cortical do controle do andar é importante para a identificação do momento em que as alterações inerentes ao envelhecimento afetam a atividade do córtex cerebral durante o andar. Este estudo verificou maior ativação do córtex pré-frontal: i) a partir dos 60 anos para o andar usual; ii) a partir dos 50 anos para o andar adaptativo; iii) a partir dos 30 anos para o andar com tarefa dupla. Assim, com base na identificação da faixa etária em que as alterações corticais têm início, intervenções precoces com foco em tarefas locomotoras que incluam diferentes níveis de complexidade podem ser desenvolvidas com o intuito de evitar comprometimentos característicos do processo de envelhecimento durante o andar.

7 CONCLUSÃO

O processo de envelhecimento provoca aumento gradativo da participação da via indireta no controle do andar e este aumento é influenciado pela tarefa locomotora realizada. No andar usual, foi observada uma maior ativação do córtex pré-frontal a partir dos 60 anos. No andar adaptativo, esse aumento da ativação do córtex pré-frontal ocorreu a partir dos 50 anos. Ainda, no andar com tarefa dupla, a ativação do córtex pré-frontal já foi aumentada a partir dos 30 anos. Os resultados do presente estudo sugerem que o uso da via indireta de controle do andar como mecanismo compensatório se torna ineficiente a partir da sétima década de vida em indivíduos saudáveis. A partir dos 70 anos, os idosos não conseguem aumentar a ativação do córtex pré-frontal a fim de manter o desempenho do andar (e comprometimentos do andar são observados). Esta ineficiência pode estar associada com comprometimentos da função executiva, que estão mais exacerbados nos indivíduos do grupo G70. De maneira geral,

a menor ativação do córtex pré-frontal está relacionada com melhor performance do andar e melhor função executiva.

REFERÊNCIAS

- ALATORRE-CRUZ, G. C. et al. Effects of age and working memory load on syntactic processing: An event-related potential study. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 4, p. 12–185, 2018.
- ALJONDI, R. et al. A decade of changes in brain volume and cognition. **Brain Imaging and Behavior**, v. 13, n. 2, p. 554–563, 15 abr. 2019.
- AMBROSE, A. F.; CRUZ, L.; PAUL, G. Falls and Fractures: A systematic approach to screening and prevention. **Maturitas**, 1 set. 2015.
- BEURSKENS, R. et al. Age-related changes in prefrontal activity during walking in dual-task situations: A fNIRS study. **International Journal of Psychophysiology**, v. 92, n. 3, p. 122–128, jun. 2014.
- BEURSKENS, R.; BOCK, O. Age-Related Deficits of Dual-Task Walking: A Review. **Neural Plasticity**, v. 2012, p. 1–9, 15 jul. 2012.
- BRANDLER, T. C. et al. Depressive symptoms and gait dysfunction in the elderly. **American Journal of Geriatric Psychiatry**, v. 20, n. 5, p. 425–432, 2012.
- BRENES, G. A. Age differences in the presentation of anxiety. **Aging and Mental Health**, v. 10, n. 3, p. 298–302, maio 2006.
- BRUSTIO, P. R. et al. Age-related decrements in dual-task performance: Comparison of different mobility and cognitive tasks. A cross sectional study. **PLoS ONE**, v. 12, n. 7, 2017.
- BRYANT, C.; JACKSON, H.; AMES, D. The prevalence of anxiety in older adults: Methodological issues and a review of the literature. **Journal of Affective Disorders**, v. 109, n. 3, 2008.
- CAUSSE, M.; CHUA, Z. K.; REMY, F. Influences of age, mental workload, and flight experience on cognitive performance and prefrontal activity in private pilots: a fNIRS study. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 7688, maio 2019.
- CHEN, M. et al. Neural correlates of obstacle negotiation in older adults: An fNIRS study. **Gait and Posture**, v. 58, p. 130-135, 2017.
- CLARK, D. J. et al. Utilization of central nervous system resources for preparation and performance of complex walking tasks in older adults. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v. 6, 2014.
- DAS, P.; MCCOLLUM, G. Invariant structure in locomotion. **Neuroscience**, v. 25, n. 3, p. 1023–1034, 1988.
- DEMnitz, N. et al. Associations between mobility, cognition, and brain structure in healthy older adults. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v. 9, 2017.
- FAN, Y. T. et al. Aging, cognition, and the brain: effects of age-related variation in white

matter integrity on neuropsychological function. **Aging and Mental Health**, v. 23, n. 7, p. 831–839, 3 jul. 2019.

FISKE, A.; WETHERELL, J.; GATZ, M. Depression in older adults. **Annual review of clinical psychology**, v. 5, p. 363-389, 2009.

FITZHUGH, K. B.; FITZHUGH, L. C.; REITAN, R. M. Relation of acuteness of organic brain dysfunction to Trail Making Test performances. **Perceptual and motor skills**, v. 15, p. 399–403, out. 1962.

FORLANI, C. et al. Prevalence and gender differences in late-life depression: A population-based study. **American Journal of Geriatric Psychiatry**, v. 22, n. 4, p. 370–380, 2014.

FRASER, S. A. et al. Comparable cerebral oxygenation patterns in younger and older adults during dual-task walking with increasing load. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v. 8, 2016.

FRISTON, K. J. et al. To smooth or not to smooth? Bias and efficiency in fMRI time-series analysis. **NeuroImage**, v. 12, n. 2, p. 196–208, 2000.

GALNA, B. et al. Obstacle crossing deficits in older adults: A systematic review. **Gait and Posture**, v. 30, n. 3, p. 270–275, out. 2009.

GRABINER, M. D. et al. Performance of an attention-demanding task during treadmill walking shifts the noise qualities of step-to-step variation in step width. **Gait and Posture**, v. 63, p. 154–158, 1 jun. 2018.

GRABINER, P. C.; BISWAS, S. T.; GRABINER, M. D. Age-related changes in spatial and temporal gait variables. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 82, n. 1, p. 31–35, 2001.

GRADY, C. Trends in Neurocognitive Aging. **Nature reviews. Neuroscience**, v. 13, n. 7, p. 491-505, 2013.

GREEN, H. et al. Mental Health of Children and Young People in Great Britain, 2004. **National Statistics**, 2004.

GREEN, R. C. et al. Depression as a risk factor for Alzheimer disease: The MIRAGE Study. **Archives of Neurology**, v. 60, n. 5, p. 753–759, 1 maio 2003.

HAMACHER, D. et al. Kinematic measures for assessing gait stability in elderly individuals: a systematic review. **Journal of the Royal Society, Interface**, v. 8, n. 65, p. 1682–98, 7 dez. 2011.

HAMACHER, D. et al. Brain activity during walking: A systematic review. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 57, p. 310-327, 2015.

HAMACHER, D. et al. Exploring phase dependent functional gait variability. **Human Movement Science**, v. 52, p. 191–196, 1 abr. 2017.

HAMASAKI, A. et al. Age-Related Declines in Executive Function and Cerebral

Oxygenation Hemodynamics. **The Tohoku Journal of Experimental Medicine**, v. 245, n. 4, p. 245–250, 10 ago. 2018.

HARADA, C. N.; NATELSON LOVE, M. C.; TRIEBEL, K. L. Normal cognitive aging. **Clinics in geriatric medicine**, v. 29, n. 4, p. 737–52, nov. 2013.

HAUSDORFF, J. M. et al. Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly failers. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 78, n. 3, p. 278–283, 1997.

HAUSDORFF, J. M. Gait variability: Methods, modeling and meaning. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 2, p. 19, 2005.

HAUSDORFF, J. M. Gait dynamics, fractals and falls: Finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. **Human Movement Science**, v. 26, n. 4, p. 555-589, 2007.

HAUSDORFF, J. M. et al. Dual-task decrements in gait: contributing factors among healthy older adults. **The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences**, v. 63, n. 12, p. 1335–1343, dez. 2008.

HAUSDORFF, J. M.; RIOS, D. A.; EDELBERG, H. K. Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 82, n. 8, p. 1050–1056, 2001.

HAWKINS, K. A. et al. Prefrontal over-activation during walking in people with mobility deficits: Interpretation and functional implications. **Human Movement Science**, v. 59, p. 46–55, 1 jun. 2018.

HEROLD, F. et al. Functional near-infrared spectroscopy in movement science: a systematic review on cortical activity in postural and walking tasks. **Neurophotonic**, v. 4, n. 4, p. 41403, out. 2017.

HILL, A. et al. Prefrontal cortex activity during walking while multitasking: An fnir study. **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**, v. 57, n. 1, p. 1224-1228, 2013.

HILL, K. et al. Fear of falling in older fallers presenting at emergency departments. **Journal of advanced nursing**, v. 66, n. 8, p. 1769–1779, ago. 2010.

HOLLMAN, J. H. et al. Age-related differences in spatiotemporal markers of gait stability during dual task walking. **Gait and Posture**, v. 26, n. 1, p. 113–119, jun. 2007.

HOLTZER, R. et al. fNIRS study of walking and walking while talking in young and old individuals. **Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences**, v. 66, n. 8, p. 879–887, ago. 2011.

HOLTZER, R. et al. Online fronto-cortical control of simple and attention-demanding locomotion in humans. **NeuroImage**, v. 112, p. 152–159, maio 2015.

HOLTZER, R. et al. Distinct fNIRS-Derived HbO2 Trajectories During the Course and Over Repeated Walking Trials Under Single- and Dual-Task Conditions: Implications for Within

Session Learning and Prefrontal Cortex Efficiency in Older Adults. **The Journals of Gerontology: Series A**, v. 74, n. 7, p. 1076-1083, 2019.

HUNTER, S. W. et al. A framework for secondary cognitive and motor tasks in dual-task gait testing in people with mild cognitive impairment. **BMC Geriatrics**, v. 18, n. 1, 3 set. 2018.

ISMAIL, Z.; FISCHER, C.; MCCALL, W. V. What Characterizes Late-Life Depression? **Psychiatric Clinics of North America**, v. 36, n. 4, p. 483-496, 2013.

JAHN, K.; ZWERGAL, A.; SCHNIEPP, R. Gait disturbances in old age: classification, diagnosis, and treatment from a neurological perspective. **Deutsches Ärzteblatt international**, v. 107, n. 17, p. 306–15, 2010.

JANG, K. E. et al. Wavelet minimum description length detrending for near-infrared spectroscopy. **Journal of Biomedical Optics**, v. 14, n. 3, p. 034004, 2009.

KOENRAADT, K. L. M. et al. Cortical control of normal gait and precision stepping: An fNIRS study. **NeuroImage**, v. 85, p. 415–422, 15 jan. 2014.

KRAMPE, R. T. et al. Lifespan changes in multi-tasking: Concurrent walking and memory search in children, young, and older adults. **Gait and Posture**, v. 33, n. 3, p. 401–405, mar. 2011.

KULINSKI, K. et al. Advancing Community-Based Falls Prevention Programs for Older Adults—The Work of the Administration for Community Living/Administration on Aging. **Frontiers in Public Health**, v. 5, p. 4, 2017.

LA FOUGÈRE, C. et al. Real versus imagined locomotion: A [18F]-FDG PET-fMRI comparison. **NeuroImage**, v. 50, n. 4, p. 1589–1598, maio 2010.

LIN, M.-I. B.; LIN, K.-H. Walking while Performing Working Memory Tasks Changes the Prefrontal Cortex Hemodynamic Activations and Gait Kinematics. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v. 10, 18 maio 2016.

LU, C. F. et al. Maintaining gait performance by cortical activation during dual-task interference: A functional near-infrared spectroscopy study. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, p. 435–441, 14 mar. 2015.

LUCAS, M. et al. Moderating Effect of White Matter Integrity on Brain Activation During Dual-Task Walking in Older Adults. **The Journals of Gerontology: Series A**, v. 74, n. 4, p. 435-441, 2018.

LUPPA, M. et al. Age- and gender-specific prevalence of depression in latest-life - Systematic review and meta-analysis. **Journal of Affective Disorders**, v. 136, n. 3, p. 212-221, 2012.

MACAULAY, R. K. et al. A longitudinal study on dual-tasking effects on gait: cognitive change predicts gait variance in the elderly. **PloS one**, v. 9, n. 6, 2014.

MAIDAN, I. et al. The Role of the Frontal Lobe in Complex Walking among Patients with Parkinson's Disease and Healthy Older Adults: An fNIRS Study. **Neurorehabilitation and**

Neural Repair, v. 30, n. 10, p. 963–971, nov. 2016.

MAIDAN, I. et al. Age-associated changes in obstacle negotiation strategies: Does size and timing matter? **Gait and Posture**, v. 59, p. 242–247, 2018a.

MAIDAN, I. et al. Prefrontal cortex activation during obstacle negotiation: What's the effect size and timing? **Brain and Cognition**, v. 122, p. 45–51, 1 abr. 2018b.

MCGIBBON, C. A. Toward a better understanding of gait changes with age and disablement: Neuromuscular adaptation. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 31, n. 2, p. 102–108, abr. 2003.

METZGER, F. G. et al. Functional brain imaging of walking while talking – An fNIRS study. **Neuroscience**, v. 343, p. 85–93, 20 fev. 2017.

MILOYAN, B.; BYRNE, G. J.; PACHANA, N. A. Age-related changes in generalized anxiety disorder symptoms. **International Psychogeriatrics**, v. 26, n. 4, p. 565–572, 2014.

MIRELMAN, A. et al. Executive function and falls in older adults: New findings from a five-year prospective study link fall risk to cognition. **PLoS ONE**, v. 7, n. 6, 29 jun. 2012.

MIRELMAN, A. et al. Increased frontal brain activation during walking while dual tasking: An fNIRS study in healthy young adults. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 11, p. 85, 2014.

MIRELMAN, A. et al. Effects of aging on prefrontal brain activation during challenging walking conditions. **Brain and Cognition**, v. 115, p. 41–46, jul. 2017.

MIRELMAN, A. et al. Gait. **Handbook of Clinical Neurology**, v. 159, p. 119–134, 2018.

MONDOLO, F. et al. The validity of the hospital anxiety and depression scale and the geriatric depression scale in Parkinson's disease. **Behavioural neurology**, v. 17, n. 2, p. 109–115, 2006.

MONTERO-ODASSO, M. et al. Gait and cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. **Journal of the American Geriatrics Society**, v. 60, n. 11, p. 2127–36, nov. 2012.

MORRIS, R. et al. Gait and cognition: Mapping the global and discrete relationships in ageing and neurodegenerative disease. **Neuroscience and biobehavioral reviews**, v. 64, p. 326–345, maio 2016.

MURMAN, D. L. The Impact of Age on Cognition. **Seminars in Hearing**, v. 36, n. 3, p. 111–121, 1 ago. 2015.

NELSON, H. E. A modified card sorting test sensitive to frontal lobe defects. **Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior**, v. 12, n. 4, p. 313–324, dez. 1976.

NOVAK, A. C.; DESHPANDE, N. Effects of aging on whole body and segmental control

while obstacle crossing under impaired sensory conditions. **Human Movement Science**, v. 35, p. 121–130, 2014.

NYBERG, L. et al. Memory aging and brain maintenance. **Trends in cognitive sciences**, v. 16, n. 5, p. 292–305, maio 2012.

OH-PARK, M. et al. Motor dual-task effect on gait and task of upper limbs in older adults under specific task prioritization: Pilot study. **Aging Clinical and Experimental Research**, v. 25, n. 1, p. 99-106, 2013.

O'SHEA, S.; MORRIS, M. E.; IANSEK, R. Dual task interference during gait in people with Parkinson disease: effects of motor versus cognitive secondary tasks. **Physical therapy**, v. 82, n. 9, p. 888–97, set. 2002.

OSOBA, M. Y. et al. Balance and gait in the elderly: A contemporary review. **Laryngoscope Investigative Otolaryngology**, v. 4, n. 1, p. 143–153, fev. 2019.

PAN, H.-F. et al. Strategies for obstacle crossing in older adults with high and low risk of falling. **Journal of physical therapy science**, v. 28, n. 5, p. 1614–1620, maio 2016.

PARASKEVOUDI, N.; BALCI, F.; VATAKIS, A. “Walking” through the sensory, cognitive, and temporal degradations of healthy aging. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 2018.

PATLA, A. E. Understanding the control of human locomotion: A prologue. **Advances in Psychology**, v. 78, n. C, p. 3–17, 1 jan. 1991.

PATLA, A. E. Understanding the roles of vision in the control of human locomotion. **Gait and Posture**, fev. 1997.

PELICIONI, P. H. S. et al. Prefrontal cortical activation measured by fNIRS during walking: effects of age, disease and secondary task. **PeerJ**, v. 7, p. e6833, 2019.

PENNINGTON, B. F.; OZONOFF, S. Executive functions and developmental psychopathology. **Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines**, v. 37, n. 1, p. 51-87, 1996.

PIRKER, W.; KATZENSCHLAGER, R. Gait disorders in adults and the elderly: A clinical guide. **Wiener Klinische Wochenschrift**, v. 129, n. 3-4, p. 81-95, 2017.

REUTER-LORENZ, P. A.; CAPPELL, K. A. Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. **Current Directions in Psychological Science**, jun. 2008.

ROBBINS, T. W. Dissociating executive functions of the prefrontal cortex. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 351, n. 1346, p. 1463–1471, 1996.

ROBERTSON, L. Memory and the brain. **Journal of Dental Education**, v. 66, n. 1, p. 30-42, 2002.

- SACZYNSKI, J. S. et al. The Montreal cognitive assessment: Creating a crosswalk with the mini-mental state examination. **Journal of the American Geriatrics Society**, v. 63, n. 11, p. 2370–2374, 1 nov. 2015.
- SALTHOUSE, T. A. et al. Aging of attention: Does the ability to divide decline? **Memory & Cognition**, v. 23, n. 1, p. 59–71, jan. 1995.
- SMITH, E.; CUSACK, T.; BLAKE, C. The effect of a dual task on gait speed in community dwelling older adults: A systematic review and meta-analysis. **Gait & Posture**, v. 44, p. 250–258, 2016.
- SRYGLEY, J. M. et al. When does walking alter thinking? Age and task associated findings. **Brain Research**, v. 1253, p. 92–99, fev. 2009.
- STUART, S. et al. Cortical activity during walking and balance tasks in older adults and in people with Parkinson's disease: A structured review. **Maturitas**, v. 113, p. 53–72, 2018.
- TURCU, A. et al. Falls and depression in older people. **Gerontology**, v. 50, n. 5, p. 303–308, 2004.
- VANDERHASSELT, M. A.; DE RAEDT, R.; BAEKEN, C. Dorsolateral prefrontal cortex and Stroop performance: Tackling the lateralization. **Psychonomic Bulletin and Review**, v. 16, n. 3, p. 609–612, jun. 2009.
- VANSWEARINGEN, J. M.; STUDENSKI, S. A. Aging, motor skill, and the energy cost of walking: implications for the prevention and treatment of mobility decline in older persons. **The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences**, v. 69, n. 11, p. 1429–1436, 2014.
- VERDELHO, A. et al. Depressive symptoms predict cognitive decline and dementia in older people independently of cerebral white matter changes: The LADIS study. **Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry**, v. 84, n. 11, p. 1250–1254, 2013.
- VERGHESE, J. et al. Brain activation in high-functioning older adults and falls: Prospective cohort study. **Neurology**, v. 88, n. 2, p. 191–197, 2017.
- VITORIO, R. et al. fNIRS response during walking — Artefact or cortical activity? A systematic review. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 83, p. 160–172, dez. 2017.
- WAGER, T. D.; SMITH, E. E. Neuroimaging studies of working memory : A meta-analysis. **Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience**, v. 3, n. 4, p. 255–274, 2003.
- WERT, D. M. et al. Gait biomechanics, spatial and temporal characteristics, and the energy cost of walking in older adults with impaired mobility. **Physical therapy**, v. 90, n. 7, p. 977–985, 2010.
- WETHERELL, J. L.; GATZ, M.; PEDERSEN, N. L. A longitudinal analysis of anxiety and depressive symptoms. **Psychology and Aging**, v. 16, n. 2, p. 187–195, 2001.
- WILSON, R. S. et al. Depressive symptoms, cognitive decline, and risk of AD in older

persons. **Neurology**, v. 59, n. 3, p. 364–370, 13 ago. 2002.

WUTHRICH, V. M.; JOHNCO, C. J.; WETHERELL, J. L. Differences in anxiety and depression symptoms: Comparison between older and younger clinical samples. **International Psychogeriatrics**, v. 27, n. 9, p. 1523–1532, 9 jan. 2015.

YE, J. C. et al. NIRS-SPM: Statistical parametric mapping for near-infrared spectroscopy. **NeuroImage**, v. 44, n. 2, p. 428–447, 15 jan. 2009.

YOGEV-SELIGMANN, G.; HAUSDORFF, J. M.; GILADI, N. The role of executive function and attention in gait. **Movement Disorders**, v. 23, n. 3, p. 329-342, 2008.

ZHOU, B.-Y.; SHI, J.; YU, P.-L. [Consequence and risk factors of falls-related injuries in community-dwelling elderly in Beijing]. **Zhonghua liu xing bing xue za zhi = Zhonghua liuxingbingxue zazhi**, v. 34, n. 8, p. 778–781, ago. 2013.

APÊNDICE A - Resultados estatísticos das ANCOVAs

Hemisfério	Efeito grupo	Efeito condição	Interação
Esquerdo	$F_{5,79}=4,437$; p=0,001*	$F_{2,158}=1,220$; p=0,298	$F_{10,158}=2,041$; p=0,032*
Direito	$F_{5,79}=4,185$; p=0,002*	$F_{2,158}=1,611$; p=0,203	$F_{10,158}=2,729$; p=0,004*

*: p significativo.

APÊNDICE B - Resultados estatísticos das ANOVAs

Variáveis do andar	Efeito grupo	Efeito condição	Interação
Velocidade do passo	$F_{5,80}=2,056$; $p=0,080$	$F_{2,160}=25,940$; $p<0,001$*	$F_{10,160}=1,308$; $p=0,230$
Comprimento do passo	$F_{5,80}=2,869$; $p=0,020$*	$F_{2,160}=12,134$; $p<0,001$*	$F_{10,160}=1,501$; $p=0,143$
Duração do passo	$F_{5,80}=0,823$; $p=0,537$	$F_{2,160}=19,991$; $p<0,001$*	$F_{10,160}=1,536$; $p=0,131$
Largura do passo	$F_{5,80}=0,467$; $p=0,800$	$F_{2,160}=35,686$; $p<0,001$*	$F_{10,160}=2,067$; $p=0,030$*
CV da velocidade do passo	$F_{5,80}=1,076$; $p=0,380$	$F_{2,160}=11,631$; $p<0,001$*	$F_{10,160}=0,724$; $p=0,702$
CV do comprimento do passo	$F_{5,80}=4,388$; $p=0,001$*	$F_{2,160}=217,998$; $p<0,001$*	$F_{10,160}=2,124$; $p=0,025$*
CV da duração do passo	$F_{5,80}=0,266$; $p=0,076$	$F_{2,160}=14,038$; $p<0,001$*	$F_{10,160}=0,732$; $p=0,694$
CV da largura do passo	$F_{5,80}=1,129$; $p=0,352$	$F_{2,160}=24,024$; $p<0,001$*	$F_{10,160}=0,631$; $p=0,786$

*: p significativo.