

GUILHERME SILVA UMEMURA

Efeitos da restrição e da privação do sono sob o controle motor humano.
Consequências no controle da marcha e da postura.

SÃO PAULO-SP

2020

GUILHERME SILVA UMEMURA

Efeitos da restrição e da privação do sono sob o controle motor humano.

Consequências no controle da marcha e da postura.

Tese de doutorado apresentada ao
Instituto de Psicologia da Universidade de
São Paulo em cumprimento aos requisitos
do programa de Pós-Graduação em
Neurociências e Comportamento

Área de Concentração: Neurociências e
Comportamento

Orientador: Prof. Dr. Arturo Forner-
Cordero

SÃO PAULO – SP

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação
Biblioteca Dante Moreira Leite
Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Umemura, Guilherme Silva

Efeitos da restrição e da privação do sono sob o controle motor humano.
Consequências no controle da marcha e da postura. / Guilherme Silva Umemura;
orientador Arturo Forner-Cordero. -- São Paulo, 2020.

110 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Neurociências e
Comportamento) -- Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, 2020.

1. *jetlag* social. 2. equilíbrio. 3. sincronização sensório-motora. 4. distúrbios de
sono. I. Forner-Cordero, Arturo, orient. II. Título.

Nome: UMEMURA, Guilherme Silva

Título: Efeitos da restrição e da privação do sono sob o controle motor humano.
Consequências no controle da marcha e da postura.

Tese de doutorado apresentada ao Instituto de
Psicologia da Universidade de São Paulo em
cumprimento aos requisitos do programa de Pós-
Graduação em Neurociências e Comportamento

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Dedicatória

Aos meus amigos,

Mentores,

Mestres,

Amores,

Dedico

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer à minha família, que sempre me apoiou e me deu suporte em todos os meus treze anos de aperfeiçoamento acadêmico e a todos os desafios que tive ao longo de meu engatinhar profissional.

Gostaria de agradecer também às agências de fomento, desde a minha bolsa de monitoria na graduação da Universidade Federal de Lavras, até aos órgãos federais e estaduais competentes que, mesmo em frangalhos nos dias de hoje, ainda conseguem apoiar e fornecer a oportunidade necessária para que pessoas sem muitas oportunidades consigam atingir seus objetivos.

Também não posso deixar de agradecer pessoas que foram mentoras de alguma forma para mim que não estão mais presentes em vida. Em especial a duas pessoas: minha irmã, a professora Ariane Thais Umemura (*in memoriam*) que certamente me influenciou para a escolha de minha formação atual. Também gostaria de agradecer ao meu primeiro orientador, o professor Dr. Fernando Roberto de Oliveira (*in memoriam*), que me incentivou, mesmo que talvez de formas equivocadas, à busca pela carreira acadêmica, e me mostrou que a Universidade serve para muito mais do que simplesmente para o aprimoramento profissional. Me mostrou que pode ser usada para combater a desigualdade, seja ela da forma que se imaginar.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus mentores e orientadores da pós graduação, em especial ao Prof. Dr. Arturo Forner-Cordero, e ao Prof. Dr. João Pedro Pinho que me apoiaram e me ajudaram no possível e no impossível durante o meu doutoramento.

Educar é impregnar de sentido o que
fazemos a cada instante!

-Paulo Freire, o grande mestre

RESUMO

O ser humano passa praticamente um terço da sua vida dormindo sendo que o sono é influenciado por fatores sociais e ambientais. A vida moderna, devido a modernização e a globalização dos compromissos sociais obriga as pessoas a dormirem menos horas do que necessitam. O controle motor em tempo real é importante para a execução de tarefas diárias e depende de áreas no cérebro relacionadas a tarefas de alta demanda cognitiva como o córtex pré-frontal, tálamo e cerebelo, que são afetadas por distúrbios de sono. É bem elucidado que a privação de sono aguda afeta negativamente o controle postural, mas não existem estudos que investigam os efeitos da privação de sono em ajustes da marcha orientadas por um metrônomo. Adicionalmente, pouco se sabe como que a restrição de sono crônica afeta parâmetros posturais e da marcha, e não há estudos sobre as consequências em execução dessas tarefas sob a influência do *jetlag* social. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da restrição crônica de sono, caracterizada pelo *jetlag* social, no controle da postura e como que a restrição crônica e a privação aguda de sono afetam a sincronização da marcha orientada por um metrônomo. Foram realizados experimentos comparando parâmetros de sono e ritmo em ambientes rurais e urbanos e de questionários de qualidade de sono e sonolência com parâmetros de actimetria e dois experimentos motores avaliando o controle postural e ajustes em tempo real da marcha. Foi observado que indivíduos em contexto urbano têm um sono de menor duração e qualidade em registros realizados por actimetria. O *jetlag* social afeta negativamente o controle postural, principalmente em tarefas com maior demanda cognitiva. É possível identificar mudanças nos ajustes da marcha orientada pelo metrônomo em indivíduos com restrição e privação de sono aguda. Os indivíduos com privação aguda têm uma menor estabilidade no período da marcha e cometem erros de sincronização com o metrônomo, que pode ser indícios do comprometimento do controle de movimentos devido a privação de sono. Com base nos resultados, é possível propor em testes futuros, desenhos experimentais e intervenções que possibilitam a detecção de sonolência e distúrbios de sono de forma imediata através da utilização de testes motores

Palavras chave: *jetlag* social, equilíbrio, sincronização sensoriomotora, distúrbios de sono

ABSTRACT

People spend almost a third of his life sleeping, which is influenced by social and environmental factors. Modern life, forces people to sleep less hours than they need. As a consequence of this sleep restriction, several health problems have arisen: cognitive problems, affecting learning processes, decreased attention, and increased reaction time. Real-time motor control is important for performing daily tasks and depends on areas in the brain related to high cognitive demand tasks such as the prefrontal cortex, thalamus and cerebellum. These CNS areas are the most affected by sleep disorders. It is well understood that acute sleep deprivation negatively affects postural control, but there are no studies that investigate the effects of sleep acute deprivation on gait adjustments guided by a sound metronome. Additionally, little is known about how the chronic sleep restriction, that can be characterized as social *jetlag*, affects postural and gait parameters. Thus, the objective of this study was: 1) to evaluate the impact of chronic sleep restriction, characterized by social *jetlag*, on posture control and 2) how chronic restriction and acute sleep deprivation affect the synchronization of gait guided by a metronome. Experiments were carried out, comparing sleep and rhythm parameters in rural and urban environments and sleep quality and daytime sleepiness with actimetry parameters, and two motor experiments evaluating postural control and real-time gait adjustments. It was observed that individuals in an urban cities have a shorter and quality sleep based on a parameter obtained by actimetry when compared with rural citizens. The social *jetlag* negatively affects postural control, especially in tasks with greater cognitive demand. It is possible to identify changes in metronome-oriented gait adjustments in individuals with acute sleep deprivation and restriction. Individuals with acute deprivation have less stability during the gait period and make synchronization errors with the metronome, which can be indicative of impaired movement control generated by sleep deprivation. Based on the results, it is possible to propose in future tests, experimental designs and interventions that make it possible to detect drowsiness and sleep disorders immediately through the use of motor tests

Keywords: social *jetlag*, sway, sensorimotor synchronization, sleep disturbances

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Exemplo do controle homeostático e Circadiano no ritmo sono/vigília. O nadir da curva sigmóide do processo C está relacionada aos horários com maior propensão de ocorrer a fase de sono. O aumento da curva do processo homeostático está associado com o aumento da pressão de sono, relacionado à duração da vigília. Em uma situação hipotética de trabalho durante a noite biológica, há um aumento exacerbado da pressão de sono que culmina em uma maior duração do tempo total de sono como compensação. Adaptado do modelo proposto por Daan (1984) e Borberly (1982)..... 13
- Figura 2. Desenho experimental do estudo desenvolvido. Este desenho resultou em três experimentos distintos, (1, 2, 3 e 4)..... 32
- Figura 3. O actímetro Actitrust..... 33
- Figura 4. Exemplo de dados do ritmo sono/vigília a partir do programa ActStudio..... 34
- Figura 5. Plataforma de Força Biodex Balance System (<https://www.biodex.com/>)..... 37
- Figura 6. Teste de postura Dinâmico (TPD). O indivíduo deve controlar o cursos que utilizando o controle postural como referência para cada uma das localizações conforme o andamento do teste. (<https://www.biodex.com/>) 38
- Figura 7. Esquema de posicionamento do sistema de captação cinemática optitrack no laboratório de experimentos. O posicionamento das câmeras garante a gravação sem interferências e ruídos..... 39
- Figura 8. Representação esquemática do período do metrônomo das três condições experimentais no teste de marcha. Na ampliação, há as três situações que podem vir a ocorrer na tentativa de sincronizar o passo com o bipe: quando o passo (marcado por 'x'). Figura adaptada de Forner-Cordero et al (2019) 40
- Figura 9. Gráfico de comparação dos valores de movimentação durante o repouso (L5) para os grupos com melhor qualidade de sono (Grupo1) e pior qualidade de sono (Grupo2) identificados pelo PSQI. Há diferença significativa entre os dois grupos (Teste t de student $p < 0,05$). Dados previamente publicados em Forner-Cordero e colaboradores (2018a)..... 45
- Figura 10. Tamanho de efeito Delta de Cliff com intervalo de confiança de 95% na comparação entre os grupos urbano e rural. O ponto central em preto demonstra diferenças significativas ($p < .05$) entre os grupos. A área em cinza especifica o intervalo em que o efeito do tamanho das diferenças entre os grupos é trivial ($-0.2 < \delta < 0.2$). Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2017b) 46
- Figura 11: Tamanho de efeito de Dunlap com intervalo de confiança de 95% entre os testes de controle postural realizados na sexta e segunda-feira. O ponto central em preto demonstra diferenças significativas ($p < .05$) entre os testes. A área em cinza especifica o

intervalo em que o efeito do tamanho das diferenças entre os grupos é trivial ($-0.2 < \delta < 0.2$). Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2018)..... 49

Figura 12. Largura do passo ao longo das diferentes fases da marcha orientada pelo metrônomo no Grupo Controle (GC), Grupo com Restrição Crônica (GRC) e Grupo de Privação de Sono Aguda (GPA). Não foram observadas diferenças significativas entre as fases. Umemura et al. (submetido) 52

Figura 13. Comprimento do passo ao longo das diferentes fases da marcha orientada pelo metrônomo no Grupo Controle (GC), Grupo com Restrição Crônica (GRC) e Grupo de Privação de Sono Aguda (GPA). as letras significam as diferenças dos efeitos principais das fases do teste. Umemura et al. (submetido) 52

Figura 14. Dispersão da fase relativa ao longo dos testes (MET A, MET BF, MET GK) para os grupos controle (GC), grupo de sono restrito (GRC) e grupo de privação aguda (GPA). É possível notar uma maior variabilidade nos dados do grupo GPA. Umemura et al. (submetido) 54

Figura 15. Frequência (em porcentagem) de antecipação (cinza), atraso (preto) e acerto (branco) ao longo das fases do metrônomo (A a K). Grupo controle (GC): primeira coluna de cada fase, grupo de restrição crônica (GRC): segunda coluna e grupo de privação aguda (GPA), terceira coluna de cada fase. Umemura et al. (submetido) 55

Figura 16. Fase relativa (em graus) entre o bipe do metrônomo e o contato do calcanhar no solo ao longo das diferentes fases da marcha orientada pelo metrônomo no Grupo Controle (GC), Grupo com Restrição Crônica (GRC) e Grupo de Privação de Sono Aguda (GPA). As letras significam diferenças estatísticas entre as fases ao longo do teste. Umemura et al. (submetido) 55

Figura 17. Erros de sincronização observados durante a marcha no grupo de privação aguda (GPA). Cada pico negativo corresponde a um adiantamento em relação ao bipe do metrônomo e cada pico positivo corresponde a um atraso em relação ao bipe do metrônomo. Cada cor representa um sujeito do grupo. Os outros grupos não estão representados, pois não há observação de erros de sincronização. 56

Figura 18. Frequência de indivíduos que apresentaram erros de sincronização na marcha orientada pelo metrônomo por grupo (Grupo controle – GC ; Grupo de sono Restrito – GRC; Grupo de privação aguda de sono – GPA) em cada situação do metrônomo (MET A; MET BF e MET GK). Umemura et al. (submetido) 57

Figura 19. Gráfico de dispersão dos períodos dos passos ao longo do teste para o grupo controle (GC), grupo de sono restrito (GRC) e grupo de privação aguda (GPA). Umemura et al (submetido) 57

Figura 20. Média das diferenças absolutas (em ms) do período do metrônomo e do período de passo ao longo das diferentes fases de ritmo do metrônomo da marcha orientada pelo metrônomo no Grupo Controle (GC), Grupo com Restrição Crônica (GRC) e Grupo de Privação de Sono Aguda (GPA). as letras significam as diferenças das fases do

metrônomo, os símbolos dentro das colunas significam diferenças significativas entre os grupos GPA com GC (γ) e GRC (δ). Umemura et al (submetido)..... 59

Figura 21. Média e desvio padrão do número de acertos de passo com o metrônomo do Grupo Controle (GC), Grupo de restrição de sono crônica (GRC) e grupo de privação de sono aguda (GPA) em cada fase do metrônomo. As letras significam efeitos principais de diferenças entre as fases e os símbolos indicam diferenças de efeitos principais entre grupos (ϕ : maior que o GPA; δ : Maior que o GRC – Anova de dois fatores). Umemura et al. (submetido)..... 60

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Variáveis de tempo e espaço utilizadas para análise da marcha..... 26
- Tabela 2. Comparação dos parâmetros obtidos pela análise de actimetria entre os grupos com melhor (Grupo1) e Pior (Grupo2) sonolência e qualidade de sono obtidos pelo questionário ESS e PSQI. Os asteriscos e o p em negrito significam teste t independente $p < 0.05$ (Dados previamente publicados em Forner-Cordero e colaboradores (2018a)) 44
- Tabela 3. Parâmetros de sono obtidos por actimetria do grupo de contexto urbano (São Paulo/SP) e Rural (Barbacena/MG) os valores de p marcado em negrito significam diferenças estatísticas entre os grupos (Teste U de Mann-Whitney - $p < 0.05$) Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2017b) 46
- Tabela 4. Valores dos parâmetros de sono obtidos por actimetria e questionário de Epworth nos dias de trabalho e dias livres. os valores de p marcado em negrito significam diferença estatística entre dias de trabalho e dias livres no teste t pareado ($p < 0.05$). Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2018). 47
- Tabela 5. Média e desvio padrão do Índice de Estabilidade (IE) ou percentual de acurácia (%) das oito condições de controle postural nos testes realizados na sexta-feira e na segunda-feira: Teste de postura estático com olhos abertos (TPE-OA) e fechados (TPE-OF); teste de postura com instabilidade fixa com olhos abertos (TPF-AO) e fechados (TPF- OF); teste de postura com instabilidade variável com os olhos abertos (TPV – AO) e fechados (TPV-OF); Teste de postura dinâmico com maior (TPD-maior) e menor (TPD-controle) do usuário. Os valores de p em negrito significam diferenças estatísticas entre os testes (Teste t pareado $p < 0.05$). Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2018). 48
- Tabela 6 Média e desvio padrão dos parâmetros de sono e ritmo circadiano obtidos por questionários e actimetria dos grupos controle, grupo de sono restrito e grupo de privação aguda. * significa diferença significativa entre os grupos demarcados, ** significa diferença significativa com os demais grupos (Anova de um fator com post hoc de Tukey, $p < 0.05$). 50
- Tabela 7. Média (desvio padrão) para o comprimento do passo e o período do passo ao longo das fases dos testes para o grupo controle (GC), grupo de sono restrito (GRC), e grupo de privação crônica. Os valores em negrito significam diferença estatística (Anova mista de dois fatores de medidas repetidas $p < 0.05$) 53
- Tabela 8. Média (desvio padrão) para a fase relativa do passo (em graus) e das diferenças período do passo (em milissegundos) ao longo das fases dos testes para o grupo controle (GC), grupo de sono restrito (GRC), e grupo de privação crônica. * significa diferença significativa entre os grupos demarcados, ** significa diferença significativa com os demais grupos (Anova mista de dois fatores de medidas repetidas $p < 0.05$) 58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. O sistema circadiano e homeostático da regulação do sono.	12
1.2. Os Cronotipos e as diferenças individuais nas adaptações a desafios temporais	14
1.3. O uso da actimetria no estudo de problemas de sono e ritmos biológicos.	16
1.4. A privação e restrição do sono modificando processos de atenção, cognição, aprendizagem e controle motor.....	17
1.5. Privação aguda e crônica de sono no desempenho de tarefas de controle postural.	18
1.5.1 Privação aguda e crônica de sono no desempenho de tarefas de controle postural: avaliação da privação de sono	22
1.6. Aspectos neurofuncionais da marcha humana sob interação do sono.	24
2. HIPOTESE	28
3. OBJETIVOS	30
3.1. Objetivos Específicos	30
4. METODOLOGIA.....	31
4.1 Utilização de questionários de sono e de cronotipos	32
4.2 Análise da actimetria para identificação de parâmetros de sono	33
4.3 Análise dos testes de controle motor	36
4.3.1 Análise da tarefa de Controle Postural	36
4.3.2 Análise da tarefa de marcha orientada pelo metrônomo.....	39
4.4 Metodologia de análise de dados	42
5. RESULTADOS	44
5.1 Comparação de parâmetros de actimetria com a sonolência diurna e qualidade de sono identificados por questionários.....	44
5.1 Restrição de sono causada pela vida moderna: comparação de parâmetros de sono entre São Paulo (SP) e Barbacena (MG)	45
5.2 Efeitos do <i>jetlag</i> social no controle postural.....	47
5.3 Restrição crônica e aguda de sono afetam habilidade de sincronização auditoria da marcha.....	50
6. DISCUSSÃO.....	61
6.1 Distúrbios de sono decorrentes da vida moderna em áreas urbanizadas.	61
6.2 Efeitos da restrição crônica de sono no controle postural.....	64
6.3. Privação do sono afeta o controle da marcha.	67
7. CONCLUSÕES	76
7.1 Conclusões gerais	76

7.2 Conclusões a partir das hipóteses	77
7.3 Contribuições e aplicações do conhecimento	78
7.4 Limitações do estudo	79
7.5 Trabalhos futuros	79
8. REFERÊNCIAS	81
9. ANEXOS	93
9.1 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – Testes de Controle Postural.....	94
9.2 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – Testes de Marcha Orientada pelo Metrônomo.....	96
9.3 Questionário de cronotipos de Horne e Otsberg	98
9.4 Questionário de Qualidade de sono de Pittsburgh	106
8.5 Escala de Sonolência de Epworth	110

1. INTRODUÇÃO

O sono está presente em todos os mamíferos com diferentes características de duração e frequência, sendo essencial para a manutenção fisiológica dos seres vivos (TUFIK, 2008). Segundo a Organização Mundial de Saúde, cerca de 45% da população de grandes centros urbanos devem ter problemas com a privação de sono. Como consequência, diversos problemas de saúde, desde uma maior prevalência à obesidade quanto a problemas cognitivos, afetando processos de aprendizagem, diminuição da atenção, e aumento do tempo de reação (WALKER; STICKGOLD; AVENUE, 2004; WALKER et al., 2005; GOEL et al., 2009).

A restrição parcial de sono é comum na sociedade urbana moderna, ou seja, as pessoas dormem menos do necessário. Esta restrição parcial e crônica de sono está associada ao estilo de vida moderno, principalmente pelo atraso na hora de dormir, bem como pelo antecipar do horário de despertar em virtude das atividades de trabalho e estudantis. Isto parece ser agravado pela necessidade de acordar ainda mais cedo em função das distâncias a serem percorridas nas grandes cidades para se chegar ao locais de execução do trabalho/estudo, o que resulta numa diminuição significativa na qualidade de vida dos indivíduos (ROENNEBERG; WIRZ-JUSTICE; MERROW, 2003). Estudos modernos mostram que a restrição de sono crônica está associada a diversos problemas de saúde e de funcionamento cerebral que causam perda de desempenho nas atividades do dia-a-dia e de diversos processos de aprendizagem (ALVAREZ; AYAS, 2004; BLIESE; WESENSTEN; BALKIN, 2006; LUYSTER et al., 2012).

1.1. O sistema circadiano e homeostático da regulação do sono.

O ser humano passa cerca de um terço de sua vida dormindo. Apesar de aparentemente o indivíduo estar inativo durante esta fase, o sono tem um papel essencial na vida do sujeito. Na fase de sono ocorrem boa parte das recuperações fisiológicas do organismo, desde recuperações musculoesqueléticas, processos relacionados à imunidade, e também na consolidação da memória e facilitação da aprendizagem (TUFIK, 2008). Assim, o sono é um processo ativo atrelado à vigília em que o estudo da interação entre estes dois estados comportamentais é necessário para o entendimento de todos os processos envolvidos no sono, entre os quais está presente a oscilação circadiana.

O termo “ritmos circadianos” foi proposto por Halberg (HALBERG, 1959) para denominar as variações de processos no organismo com duração de aproximadamente 24 horas e que persistem na ausência de pistas temporais, mas que podem ser modificadas por estímulos externos como incidência do ciclo claro/escuro, alimentação ou atividade diária. A observação dos ritmos circadianos foi feita inicialmente em estudos experimentais nos quais se avaliava a atividade locomotora de animais mantidos em um ambiente com 12 horas de fase clara e 12 horas de fase escura (ASCHOFF, 1965). Desta forma, os ritmos biológicos circadianos são o resultado da interação entre os sistemas oscilatórios biológicos endógenos e os fatores ambientais externos aos quais os organismos estão submetidos (MARQUES; MENNA-BARRETO, 2003).

Para explicar como é a regulação do sistema de temporização do ciclo sono-vigília, é proposto um processo que envolve a regulação circadiana e homeostática (DAAN; BEERSMA; BORBELY, 1984). Neste modelo há a atuação do processo de regulação homeostática (processo S), em que a pressão do sono aumenta exponencialmente a partir o início da vigília até o início do sono. se recuperando a partir deste momento. Juntamente com a regulação homeostática, há um componente circadiano (processo C) em que existem horários com maiores e menores propensão ao sono, ou seja, dentro do dia há horários em que há uma maior probabilidade de ocorrer um evento de sono.

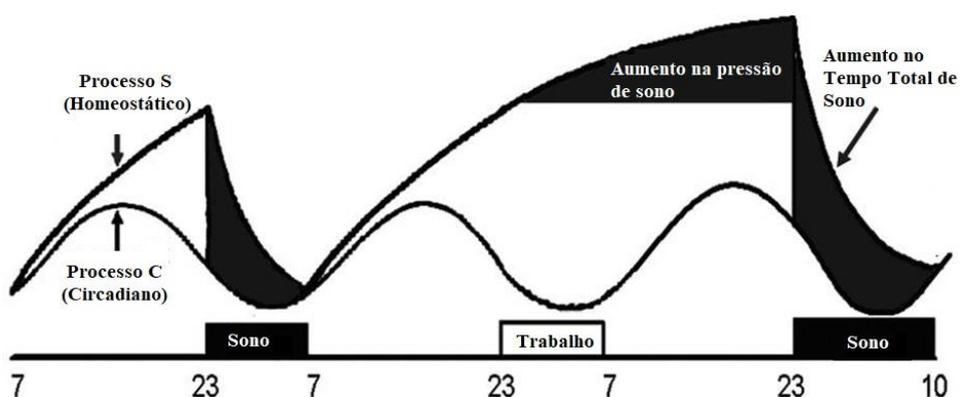


Figura 1 Exemplo do controle homeostático e Circadiano no ritmo sono/vigília. O nadir da curva sigmóide do processo C está relacionada aos horários com maior propensão de ocorrer a fase de sono. O aumento da curva do processo homeostático está associado com o aumento da pressão de sono, relacionado à duração da vigília. Em uma situação hipotética de trabalho durante a noite biológica, há um aumento exacerbado da pressão de sono que culmina em uma maior duração do tempo total de sono como compensação. Adaptado do modelo proposto por Daan (1984) e Borberly (1982).

A partir deste modelo, é possível visualizar que, se não há uma recuperação completa do acúmulo da pressão de sono durante a fase de repouso, caracterizado um sono mais curto do que o necessário (ou de baixa qualidade), o indivíduo não consegue recuperar toda a pressão de sono acumulada durante a vigília anterior, de modo a gerar um déficit no controle homeostático do ciclo sono-vigília (BORBELY, 1982). Este acúmulo de pressão do sono pode vir a causar diversos problemas relacionados à saúde, como sonolência, diminuição da atenção, entre outros distúrbios cognitivos (BONNET; ARAND, 1995; ROBILLARD et al., 2011a).

Apesar do consenso dos problemas causados com a privação e restrição de sono, boa parte da população está exposta a rotinas que estão na sua origem, impostas pelas obrigações sociais, como trabalho e estudo (ROENNEBERG; MERROW, 2007). No entanto, as variações individuais do comportamento circadiano das pessoas fazem com que uma parcela da população tenha mais problemas do que outras devido à preferência na alocação de suas tarefas ao longo do dia. A partir destas diferentes preferências individuais é possível separar as pessoas em diferentes grupos, os Cronotipos.

1.2. Os Cronotipos e as diferenças individuais nas adaptações a desafios temporais

O homo sapiens é uma espécie diurna – ou seja, os indivíduos estão ativos durante a maior parte do dia e dormem durante grande parte da noite – embora ocorram diferenças individuais nas preferências de horários para a execução de atividades cotidianas e nos horários de dormir e acordar. Levando em consideração as preferências por determinados horários para a realização de atividades e para dormir e acordar, é possível classificar os indivíduos em grupos distintos, denominados em Cronobiologia de “cronotipos”: pessoas que preferem dormir e acordar mais cedo, são classificadas como matutinas; as que preferem dormir e acordar mais tarde são as vespertinas; as que têm preferências entre estes dois extremos são denominadas de intermediárias (ROENNEBERG; WIRZ-JUSTICE; MERROW, 2003)

Os cronotipos são identificados basicamente por meio de questionários. O questionário mais utilizado é o de Horne e Östberg (HO) (HORNE; ÖSTBERG, 1976), cujo objetivo principal é avaliar se as preferências nas execuções de tarefas cotidianas do indivíduo ocorrem no horário da manhã, da tarde ou em um momento intermediário. Este questionário é composto por 19 perguntas acerca de possíveis situações cotidianas e o avaliado deve escolher, entre quatro respostas, aquela com a qual ele mais se identifica.

Este estudo mostrou que o pico do estado de alerta está associado a valores máximos da temperatura central corporal: os indivíduos matutinos apresentaram o pico da temperatura em horários mais adiantados que os indivíduos vespertinos, e os intermediários registraram picos de temperatura entre os valores obtidos para os matutinos e os vespertinos (HORNE; OSTBERG, 1976).

Mais recentemente, foi proposto um outro questionário para a identificação de cronotipos: o Questionário de Munique (MCTQ) (ROENNEBERG; WIRZ-JUSTICE; MERROW, 2003). Este questionário tem perguntas sobre os horários de dormir e acordar separadamente durante a semana de trabalho e durante os dias livres (finais de semana, por exemplo), possibilitando identificar a meia fase do sono (horário do ponto médio da duração do sono) do indivíduo através do cálculo da média ponderada da meia fase do sono nos dias de trabalho e nos dias livres. Exceto para indivíduos com cronotipos matutinos extremos, há uma grande diferença nos tempos individuais de sono entre os dias de trabalho e os dias livres, com a maioria dos sujeitos acumulando débito de sono durante os dias de trabalho. Portanto, a meia fase do sono em dias livres ocorre mais tarde para dar conta do déficit de sono acumulado durante os dias de trabalho, o que indica uma possível restrição de sono ligada principalmente à obrigatoriedade da execução de tarefas mediadas pela pressão do convívio social – como trabalho e estudo – gerando o fenômeno do *jetlag* social (WITTMANN et al., 2006).

O *jetlag* social gera um padrão de restrição/extensão da duração do sono quando comparados dias com obrigações sociais (dias de semana) e dias livres (finais de semana) (WITTMANN et al., 2006; KORCZAK et al., 2008; ROENNEBERG et al., 2012). Este fenômeno é resultante das interações entre o desenvolvimento ontogenético e o contexto social onde os indivíduos estão dispostos, traduzindo-se em um estado de privação de sono crônico, que pode vir a trazer riscos à saúde e ao desempenho cognitivo. Em um grupo de mais de 1000 indivíduos universitários jovens, Lund e colaboradores (LUND et al., 2010) identificaram que cerca de 60% dos indivíduos, apresentavam baixa qualidade de sono e identificaram a manutenção do padrão de restrição/extensão do sono e a associação deste com elevados índices de fadiga e depressão.

O conceito de restrição/extensão do sono foi popularizado quando Wittmann e colaboradores (WITTMANN et al., 2006) e Roenneberg e colaboradores (ROENNEBERG et al., 2012) adotaram o termo “*Jetlag* social” para descrever este mesmo fenômeno anteriormente estudado. Os autores alegam que as modificações nos horários de início e final do sono, principalmente entre o domingo e a segunda-feira,

teriam similaridades a síndrome de dessincronização dos ritmos biológicos experimentada por indivíduos em viagem transmeridional. Os autores descreveram uma associação mais significativa entre o grau do *Jetlag* social a marcadores de depressão, bem-estar, tabagismo e prevalência de obesidade, e também um déficit cognitivo causado por um comprometimento de regiões anteriores do cérebro decorrente da privação de sono. Diversos estudos sugerem que sujeitos de cidades mais urbanizadas estão mais submetidos à alterações decorrentes do *jetlag* social, e conseqüentemente, a uma maior incidência de problemas relacionados ao sono (CARVALHO; HIDALGO; LEVANDOVSKI, 2014; MALONE et al., 2016; CHANDRAKAR, 2017)

Uma das formas que pode ser utilizada para a detecção dos horários de dormir e acordar, de modo a ser possível calcular tanto o tempo total de sono quanto indicadores de *jetlag* social é o uso do registro de actimetria (SADEH, 2011; JUDA; VETTER; ROENNEBERG, 2013)

1.3. O uso da actimetria no estudo de problemas de sono e ritmos biológicos.

A actimetria (também chamada actigrafia por alguns autores) é método não-invasivo para analisar o ritmo sono-vigília por longos períodos, de dias a meses. É baseada no monitoramento contínuo dos movimentos do usuário de forma a identificar fases de atividade e descanso. A grande vantagem da actimetria é a de fornecer informação dos hábitos do indivíduo no seu ambiente natural por um longo período de tempo (MARTIN; HAKIM, 2011)

A partir da actimetria é possível obter parâmetros que caracterizam a expressão da ritmicidade circadiana em relação ao ritmo de atividade e repouso, como indicadores de fase de ritmos, bem como parâmetros que quantificam níveis de atividade, repouso, potência e estabilidade do ritmo circadiano e da qualidade do sono (MARTIN; HAKIM, 2011; GONÇALVES et al., 2014).

O uso da actimetria é usualmente complementado com métodos qualitativos para uma informação mais abrangente sobre os problemas e distúrbios relacionados ao sono (SADEH, 2011). Questionários como o Índice de Qualidade de Sono de Pittsburgh (PSQI) e a Escala de Sonolência de Epworth (ESS) vêm sendo empregados como parâmetros gerais de saúde do sono e distúrbios relacionados ao sono (MONDAL et al., 2013).

A relação entre indicadores qualitativos e objetivos relacionados ao sono (duração, latência, eficiência) vem sendo estudada nos últimos anos (BUYSSE et al., 2008; LEMOLA; LEDERMANN; FRIEDMAN, 2013; SEGURA-JIMENEZ et al., 2015; JACKOWSKA; RONALDSON; BROWN, 2016). A maioria destes trabalhos não mostram concordância entre as duas medidas. Sendo que esses estudos não se ativeram à interação desses indicadores com tarefas de desempenho e aprendizagem motora. Estudos recentes realizados em nosso laboratório estudou a interação de questionário de sono e parâmetros obtidos por actimetria. Foi identificado que indivíduos com um sono de pior qualidade avaliado por questionários apresentam um pior desempenho nas tarefas de aprendizagem de membro superior (UMEMURA et al., 2017a).

Os estudos relacionando desempenho cognitivo e motor com distúrbios de sono são muito comuns, sendo estudado desde a prevalência de co-morbidades (LUYSTER et al., 2012; ROENNEBERG et al., 2012) até correlatos disfunção de áreas do sistema nervoso central relacionadas à execução de tarefas que exigem demanda cognitiva e motora (THOMAS; SING; BELENKY, 2000; BESNARD et al., 2018).

1.4. A privação e restrição do sono modificando processos de atenção, cognição, aprendizagem e controle motor.

O córtex pré-frontal tem um papel crucial na aprendizagem de novos movimentos motores, bem como no planejamento de movimentos complexos. Indivíduos que estão aprendendo uma nova tarefa ou executando padrões de movimentos complexos têm ativação de áreas do córtex pré-frontal enquanto a tarefa está sendo aprendida. Após o período de aprendizagem, outras áreas, as responsáveis pelo planejamento motor, são recrutadas (LENT, 2010). Adicionalmente, existem conexões do córtex pré-frontal com regiões do cerebelo, que são responsáveis pelo controle em tempo real da execução de movimento. Áreas do cerebelo são muito importantes para a locomoção e ajustes posturais e para movimentos complexos associados a estímulos auditivos e visuais, como o alcance com a mão a um determinado ponto junto a um estímulo visual (FAW, 2003; FABBRI et al., 2006; AGUIAR; BARELA, 2015). Esta circuitaria tem um papel crucial para a realização de movimentos voluntários, principalmente quando estes movimentos têm uma grande precisão ou requer motricidade fina, bem como em sequências de movimentos que envolve muitas articulações.

Além do controle motor, parâmetros especificamente cognitivos, como atenção voluntária, percepção, memória de trabalho e outras funções com alta demanda cognitiva, dependem da ativação do córtex pré-frontal (KURIYAMA; STICKGOLD; WALKER, 2004; MCCOY; STRECKER, 2011). A área do córtex pré-frontal é extremamente vulnerável à privação de sono. Estudos analisando o metabolismo funcional e a neurofisiologia do cérebro, demonstram que sistemas neurais envolvidos nas funções executivas são afetadas pela perda de sono, mesmo em privação de sono parcial, a mais comum na rotina dos seres humanos, e o déficit cognitivo acumula ao longo do tempo (DURMER; DINGES, 2005). Entre estas funções, podemos citar a diminuição do tempo de resposta no processo de aquisição de tarefas cognitivas e piora no rendimento da execução de tarefas em um curto período de tempo; bem como um aumento no esforço na execução das tarefas de forma eficiente.

Diversos estudos estão sendo desenvolvidos na tentativa de descrever como que o sistema motor ajusta comandos motores baseado no desempenho contínuo até que a tarefa seja executada (PITTO et al., 2011; ASHWORTH-BEAUMONT; NOWICKY, 2013; SENSOR, 2013). Temporização antecipatória, também chamada de tempo coincidente é uma habilidade perceptual/motor de desempenhar uma resposta motor em sincronia com chegada de um objeto externo a um determinado ponto (ERMIS; CELIKTAS; PILICER, 2016) e é incluído no processo de seleção, planejamento e execução para coordenar o estímulo como uma resposta efetora (TRESILIAN, 1995). O desempenho do tempo de reação e da contração muscular são associados com o movimento praticado (COKER, 2006; ALIBIGLOU; MACKINNON, 2012; MASAKI et al., 2012) e relacionado com a aprendizagem motora. Controle temporizado é essencial para movimentos eficientes, como em práticas esportivas (MASAKI et al., 2012), movimentos planejados (ALIBIGLOU; MACKINNON, 2012) e o estudo da aprendizagem motora. Estudos demonstram que a restrição de sono está associada a diversas doenças e problemas relacionada a ativação cerebral que causam perda de desempenho em tarefas diárias e processo de aprendizagem (ALVAREZ; AYAS, 2004), podendo afetar desde aspectos que necessitam de um controle motor fino, como manipulação de objetos, até o controle da caminhada e do controle postural.

1.5. Privação aguda e crônica de sono no desempenho de tarefas de controle postural.

Nos últimos anos, um número crescente de estudos estudou o sono devido ao seu impacto na saúde, nas atividades ocupacionais e sociais. Os artigos indexados no Pubmed passaram de 3013 em 1999 para 12894 em 2016 e 7570 apenas no primeiro semestre de 2017.

Já está bem estabelecido que a privação de sono pode afetar de estabilidade postural através da redução na capacidade de adaptação e lapsos de atenção que variam durante o dia, juntamente com a ritmicidade circadiana (FREY; BADIA; WRIGHT, 2004; FORSMAN et al., 2007; ZOUABI et al., 2016). A atividade de regiões do cérebro que regulam a atenção, a vigilância e a capacidade cognitiva, tais como o tálamo e córtex pré-frontal córtex, que diminuem a ativação durante uma privação de sono de 24 h, o que progride ainda mais enquanto o período de privação aumenta (THOMAS et al., 2000).

No entanto, as mecanismo que se relacionam a privação de sono com o desempenho motor não são totalmente compreendidos e mostram resultados divergentes na literatura. Estas divergências devem ser pelo fato de se observar diferenças metodológicas entre testes que se devem controlar fatores relacionados à diferentes campos de conhecimento, tais como distúrbios de sono, biomecânica e controle motor. Nesse aspecto, parâmetros relacionados ao sono, como horas de privação de sono, tempo do experimento ou monitoramento do sono nos dias anteriores ao teste, geralmente não são considerados nos estudos biomecânicos e de controle postural (DUARTE; FREITAS, 2010). Além disso, a avaliação experimental da postura envolve considerar múltiplas questões metodológicas que podem influenciar os resultados, como frequência de amostragem, duração do teste, perturbações sensoriais aplicadas e parâmetros de controle postural escolhidos para avaliar o equilíbrio (RAYMAKERS; SAMSON; VERHAAR, 2005).

O Controle Postural (CP) é definido como o controle da posição do corpo no espaço para equilíbrio, orientação e locomoção. A capacidade de recuperar a estabilidade e de antecipar ajustes posturais é também uma função do sistema de controle postural que é crucial para as atividades diárias (WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK, 2002).

O controle postural tem sido definido como estático, mantendo o equilíbrio durante uma postura parada sem perturbações adicionais, ou dinâmica, mantendo o equilíbrio sob perturbações ou enquanto é realizado tarefas motoras funcionais (DUARTE; FREITAS, 2010). De forma a observar a estabilidade postural, é necessário desafiar o sistema de controle postural uma vez que a análise de uma postura estática sem perturbações adicionais durante períodos curtos pode não revelar problemas posturais.

Este tipo de tarefa é muito simples para pessoas saudáveis e até mesmo para portadores de alguns distúrbios que possam afetar o controle da postura. (GRIBBLE; HERTEL, 2004).

A posturografia consiste em um conjunto de técnicas para avaliar a postura e os sistemas envolvidos no controle postural: visual, vestibular e somatossensorial (RAYMAKERS; SAMSON; VERHAAR, 2005; DUARTE; FREITAS, 2010). Desde a década de 70, plataformas de força têm sido usadas para medir e para analisar PC. Uma plataforma de força registra as forças tridimensionais da reação do solo sob os pés, que podem ser usadas para calcular o centro de pressão resultante dessas forças, fornecendo uma medida da variação da oscilação postural com o tempo. Outras ferramentas utilizadas para avaliar o controle postural incluem sistemas de medição de movimentos baseados em câmeras infravermelho, rastreamento magnético dos movimentos no espaço ou sensores inerciais. Também é possível medir outros sinais fisiológicos, tais como a eletromiografia.

O centro de pressão (COP) é o ponto de aplicação das forças verticais resultantes exercidas entre o corpo e o chão. Vários parâmetros, incluindo a média, amplitudes máxima e mínima, amplitude pico-a-pico, padrão de balanço, raiz dos quadrados médios (RMS) da amplitude, e RMS da velocidade têm sido usualmente derivadas do COP dados para quantificar as alterações no equilíbrio (RAYMAKERS; SAMSON; VERHAAR, 2005).

Com relação aos métodos de avaliação do controle postural, é importante ressaltar que diferentes protocolos de testes com diferentes parâmetros são utilizados para avaliar o desempenho nas tarefas. Com respeito às posições, o mais comum é colocar os membros superiores em posição anatômica ou cruzados sobre o peito. Em relação ao posicionamento plantar, é comum observar os pés posicionados lado a lado, paralelamente ou com um pequeno ângulo entre eles. No entanto, esta informação não é muito relatada em artigos sobre o tema. Deve-se considerar que o posicionamento dos pés configura a base de apoio nos planos anteroposterior e médio-lateral (LEVINGER et al., 2012). Mudar o posicionamento dos pés altera as condições de estabilidade (CHANG et al., 2015). Desta forma, quando os testes são realizados em momentos ou dias diferentes, o mesmo posicionamento dos pés deve ser mantido, pois pequenas alterações podem alterar os resultados.

Em relação a aquisição dos dados de COP, a largura de banda de frequência do COP para testes em repouso em indivíduos normais é inferior a 10 Hz (WINTER;

PATLA; FRANK, 1990). Desta forma, uma frequência de amostragem de 20 Hz seria suficiente para registrar esses sinais. No entanto, devido ao ruído do sinal, são utilizadas frequências mais altas, tipicamente 100 Hz (DUARTE; FREITAS, 2010). A maioria dos artigos analisados utilizam frequências entre 20 e 100 Hz.

Lafond e colaboradores (LAFOND; PRINCE, 2004) indicam que duas repetições são suficientes para obter medidas confiáveis de do desempenho postural, enquanto Corriveau e colaboradores (CORRIVEAU et al., 2000) sugerem que pelo menos quatro repetições devem ser realizadas, não havendo um consenso. Esta discrepância em relação ao número de ensaios podem ser relacionadas com as diferentes variáveis avaliadas: COP velocidade, e a diferença entre o COP e centro de massa, respectivamente (LAFOND; PRINCE, 2004).

Não há consenso sobre quais variáveis de COP devem ser usadas na investigação das alterações do controle postural sob privação de sono. Uma abordagem possível é separar a COP em parâmetros globais e estruturais (DUARTE; FREITAS, 2010). Os parâmetros globais estão relacionados ao tamanho da COP nos domínios de tempo e frequência, por exemplo, amplitude média de oscilação (MSA) e quadrado médio da raiz (RMS) das oscilações do COP nas direções antero posterior ou médio lateral (BALDAN et al., 2014). Os parâmetros estruturais relacionam sinais COP aos processos de controle motor (DUARTE; FREITAS, 2010).

Nos estudos revisados, diferentes durações dos testes de CP variaram de 15 a 180 segundos. A duração mais frequente foi de 30 segundos, proposta como a duração mínima para garantir gravações confiáveis de COP (DUARTE; FREITAS, 2010; BALDAN et al., 2014). Se o intervalo de gravação for muito curto, não é possível garantir que o COP esteja estacionário e os parâmetros obtidos dele possam levar a conclusões equivocadas. Por outro lado, uma duração muito longa pode levar à fadiga do sujeito e a uma consequente alteração nos resultados. Esse efeito seria agravado se os participantes estivessem sofrendo de privação de sono. Tarefas que envolvem perturbações posturais não requer gravações longas, alguns segundos antes e depois da perturbação devem verificar as alterações na COP (DUARTE; FREITAS, 2010) e isso também pode se aplicar aos estudos de privação do sono.

1.5.1 Privação aguda e crônica de sono no desempenho de tarefas de controle postural: avaliação da privação de sono

Em relação à avaliação do controle postural sob efeitos de privação do sono, na maioria dos estudos os participantes estavam sob a condição privação aguda do sono. O tempo mais comum de privação de sono é de uma noite, com a privação sendo controlada entre 8 e 36 h, sendo que em poucos estudos o tempo de vigília foi prolongado para até 48 h (GRIBBLE; HERTEL, 2004; SOBEIH; DAVIS; SUCCOP, 2006). Até o presente momento, poucos estudos foram encontrados analisando os efeitos do restrição de sono crônica ou parcial no controle postural (KARITA et al., 2006; SARGENT et al., 2012; SIU et al., 2015; FURTADO et al., 2016; NARCISO et al., 2016) . As formas de avaliar o sono antes dos testes variam nos experimentos. Nos artigos consultados, foi observado o uso de questionários, diários de sono, polissonografia e actigrafia (KARITA et al., 2006; ROBILLARD et al., 2011b; SARGENT et al., 2012; SMITH; CHENG; KERR, 2012; AGUIAR; BARELA, 2014; PHAM et al., 2014; CUTHBERTSON et al., 2015; FURTADO et al., 2016), que foram utilizados de forma individual ou em conjunto com mais de uma ferramenta de modo a complementar as informações (SARGENT et al., 2012; SMITH; CHENG; KERR, 2012; FURTADO et al., 2016) .

Foram observados que alguns estudos medem a privação de sono crônica usando protocolos específicos (KARITA et al., 2006; SOBEIH; DAVIS; SUCCOP, 2006; SARGENT et al., 2012; NARCISO et al., 2016). O tempo total de sono e o tempo de trabalho é comumente utilizado para separar os participantes em grupos com e sem privação de sono, sendo que pessoas que passam mais tempo acordadas têm o desempenho deteriorado na tarefa postural (KARITA et al., 2006; SOBEIH; DAVIS; SUCCOP, 2006). Sargent e colaboradores (SARGENT et al., 2012) utilizaram um protocolo no qual simulavam dias de 28 horas e observaram que a fase circadiana tem uma influência significativa no controle postural com os olhos fechados, sendo observado um pior desempenho durante a noite biológica.

De maneira geral, a restrição crônica do sono parece causar prejuízos cognitivos no controle da postura (CHELLAPPA; MORRIS; SCHEER, 2018) . Van Dongen e colaboradores (VAN DONGEN et al., 2003) afirmam que 14 dias de restrição crônica do sono são semelhantes a até dois dias de privação aguda do sono. A privação crônica do sono é um importante problema multifatorial que depende da quantidade, qualidade e arquitetura do sono, também relacionadas ao ritmo circadiano e à regularidade do ciclo.

Adicionalmente, está associado a vários problemas de saúde e função cerebral, perda de desempenho nas tarefas diárias e nos processos de aprendizagem (ALVAREZ; AYAS, 2004). Desta forma, é possível explicar os distúrbios no controle postural causado pela privação de sono crônica nos mesmos processos que é explicado a privação de sono aguda.

A maioria dos estudos que envolvem controle postural e sono tem o foco voltado sobre a privação aguda do sono. Antes dos testes de controle postural o tempo de vigília que antecedia os testes de controle postural variava entre uma noite (8 a 36 h) e 48 horas (GRIBBLE; HERTEL, 2004; SOBEIH; DAVIS; SUCCOP, 2006; PATEL et al., 2008; FORSMAN; HÆGGSTRÖM, 2013; PHAM et al., 2014).

Um grupo analisou os parâmetros estruturais do COP para estimar o tempo acordado com valor preditivo positivo de 69%, sensibilidade de 56% e especificidade de 96%. (FORSMAN et al., 2007). Outro grupo propôs um protocolo que pudesse avaliar com robustez se o tempo desde o despertar era maior que 21h com base em parâmetros globais e estruturais do COP (PHAM et al., 2014). Desta forma, uma vez que tempo acordado pode ser estimado a partir do CP, parece que condições prévias de sono dos indivíduos devem ser consideradas ao avaliar o CP.

Uma abordagem muito comum no estudo de CP sob efeitos da privação de sono é a manipulação das entradas sensoriais (GOMEZ et al., 2008; AGUIAR; BARELA, 2014; FURTADO et al., 2016). Nestes estudos, os testes suprimem ou seletivamente distorcem as entradas de informações visuais e/ou entradas somatossensorial. Com os olhos fechados, o controle postural deve contar com entradas vestibulares e somatossensoriais, que compreendem estímulos proprioceptivos e exteroceptivos (FABBRI et al., 2006). A distorção das entradas somatossensoriais por meio da colocação de espuma sob a sola do pé, gerando estímulos nos músculos da panturrilha ou movendo a plataforma, tornam essas entradas sensoriais menos confiáveis (CUTHBERTSON et al., 2015; CHENG et al., 2018).

A visão é o sistema sensorial primário usado para manter o controle postural vertical (POOLE, 1992; KAPOULA; LÊ, 2006; SHAFFER; HARRISON, 2007; UCHIYAMA; DEMURA, 2009). O sistema vestibular interage com o sistema proprioceptivo associado à descarga corolária de um plano motor, permitindo ao cérebro distinguir entre os movimentos ativos e passivos da cabeça (ANGELAKI; CULLEN, 2008). Além disso, ambos os sistemas visual e proprioceptivo interagem com o sistema vestibular via as vias vestibulares centrais, sendo essencial para o controle postural

(GAERLAN, 2010). A privação de sono tem múltiplos efeitos no controle motor e nos sistemas sensoriais, de forma a parecer que a integração sensorial está alterada. Isso explicaria a diminuição mais acentuada do desempenho do CP sob privação de sono quando os olhos estão fechados (LIU; HIGUCHI; MOTOHASHI, 2001; NAKANO e colaboradores, 2001; MA e colaboradores, 2009; ROBILLARD e colaboradores, 2011b; SARGENT e colaboradores, 2012; PHAM e colaboradores, 2014; FURTADO e colaboradores, 2016; NARCISO e colaboradores, 2016).

Com base nos dados apresentados, uma vez que a oscilação do controle postural aumenta em sujeitos com distúrbios e privação de sono, é possível concluir que a posturografia pode ser uma ferramenta eficiente para a identificação de sonolência e fadiga em indivíduos (AVNI et al., 2006; FABBRI et al., 2006). No entanto, apesar de haverem diversos estudos com privação de sono aguda no controle postural, apenas alguns estudos estão relacionados sobre restrição de sono crônica (BOUGARD; DAVENNE, 2014; AGUIAR; BARELA, 2015; FURTADO et al., 2016) e nenhum estudo foi desenvolvido estudando como o fenômeno do *jetlag* social afeta o controle postural uma vez que este fenômeno é caracterizado pela restrição de sono crônica decorrente da rotina dos indivíduos. Desta forma, há uma lacuna no estado da arte dos estudos envolvendo sono e controle motor que necessita ser mais amplamente estudada.

Diversos estudos alegam que as alterações no controle postural são decorrentes da diminuição da habilidade de adaptação e aumento de lapsos temporais em áreas do cérebro (HORAK; NASHNER; DIENER, 1990; BESNARD et al., 2018) que, além do controle postural, têm um papel essencial no controle da marcha (TAKAKUSAKI, 2017).

1.6. Aspectos neurofuncionais da marcha humana sob interação do sono.

A marcha humana é a caracterização mecânica e funcional da habilidade de locomoção que nos permite deslocar pelo espaço terrestre com maior coordenação e eficiência. Este é o mais comum de todos os movimentos humanos sendo o padrão de variabilidade de uma passada no dia-a-dia é moderadamente baixo. O ciclo da marcha é uma sequência orquestrada de eventos elétricos e mecânicos que culminam na propulsão coordenada do corpo através do espaço (TAKAKUSAKI, 2017).

A marcha humana é um comportamento resultante da interação das capacidades de locomoção e equilíbrio. A locomoção, que possibilita a orientação permanente dos movimento, é essencial para a execução da marcha e o equilíbrio é indispensável para

preservar uma postura direita (VIEL, 2001). Ela é baseada em um deslocamento vertical, especificado pela ação variada e gradual dos membros inferiores, onde ocorre um contínuo contato com o solo. Este movimento acontece de forma espontânea e repetida e é utilizado pelo ser humano no dia-a-dia para a realização de variadas tarefas (VAUGHAN; DAVIS; O'CONNOR, 1992).

As fases do ciclo da caminhada incluem eventos que ocorrem desde o contato inicial do calcanhar ao solo até o ponto que este evento ocorra novamente (Tabela 1). Durante cada ciclo da marcha, cada membro passa por duas fases, sendo uma fase de apoio e a outra fase, de balanço.

O início da fase de apoio se dá no momento em que o calcanhar toca ao solo e continua até o momento em que o pé não tenha mais contato com o solo (PERRY, 2004). A fase de balanço é iniciada a partir do momento em que o pé decola do solo, e termina no instante de contato do calcanhar com o solo. As fases de apoio e balanço correspondem, respectivamente, a 60 e 40 por cento do ciclo da marcha, sendo que em 25% deste tempo, na fase de apoio, há uma fase de apoio duplo, que também é denominada fase postural (VIEL, 2001; TAKAKUSAKI, 2017). A partir da análise das fases da marcha é possível obter parâmetros de tempo e espaço que podem ser utilizados na análise da marcha.

A análise cinemática do movimento da marcha permite uma investigação detalhada no momento da avaliação de forma a proporcionar ferramentas de registros permanentes para uma comparação em grandes grupos amostrais (PERRY, 2004). A avaliação do movimento pode ser utilizada para acessar o desempenho funcional em condições de alto rendimento, de indivíduos normais, e até mesmo com diversos tipos de patologias. Ter o entendimento cinemático do controle da caminhada é essencial para se obter diagnósticos e elaborar planos de intervenções de tratamentos eficazes para o acompanhamento.

A análise de imagem tem sido muito utilizada para a análise cinemática da marcha. Sistemas que conseguem estimar a trajetória via a gravação de segmentos do corpo através de marcadores reflexivos é o método mais usual em realizar gravações de movimento (FORNER-CORDERO et al., 2019). No entanto, outras formas pode ser utilizadas para realizar as gravações, como a utilização de câmeras e sistemas que identificam segmentos corporais (LIU et al., 2019), bem como a utilização de acelerômetros para estimar a trajetória de deslocamento dos membros (AGMON; SHOCHAT; KIZONY, 2016).

Tabela 1. Variáveis de tempo e espaço utilizadas para análise da marcha.

Variáveis de tempo	Variáveis de espaço
Tempo de apoio unipodal: período de tempo em que um pé está apoiado ao solo	Comprimento do passo: distância entre os pontos de contatos iniciais consecutivos de pés opostos
Tempo de apoio bipodal: período de tempo em que os dois pés estão em contato com o solo	
Tempo do passo: quantidade de tempo gasto em um passo	Comprimento da passada: distância entre os pontos de contatos iniciais de um ciclo completo de marcha
Tempo da passada: quantidade de tempo gasto para a realização de um ciclo completo de marcha	
Cadência: números de passos por unidade de tempo	Largura do passo: distância entre o ponto médio do calcâneo de um pé com o ponto médio do calcâneo oposto
Velocidade: deslocamento espacial realizado por unidade de tempo	

Diversos estudos investigaram o efeito da imposição de um ritmo externo em movimentos repetitivos realizados pelos seres humanos (HARY; MOORE, 1987; HURT et al., 1998; CHEN; WING; PRATT, 2006; REPP; SU, 2013; HOPPE et al., 2020). A maioria destes estudos são focados na investigação de membros superiores, mais especificamente na tarefa de batidas de dedos, mais conhecida como *finger tapping*, para entender como que os humanos sincronizam os movimentos com um estímulo externo (WESSEL et al., 1997; THAUT; TIAN; AZIMI-SADJADI, 1998; REPP; SU, 2013; QI et al., 2019).

A sincronização sensório-motora produz um estímulo motor em sincronia com o estímulo rítmico. Ela é baseada na antecipação da ativação neuromuscular em relação ao estímulo. A manutenção da sincronização é baseado em algumas funções., incluindo estimativa de tempo, predição e correção de erros; No entanto, há diferenças metodológicas neuromusculares e anatômicas das tarefas de forma que dificultam que os processos que explicam estes resultados na tarefa de *finger tapping* não podem ser diretamente extrapolados para a marcha (CHEN; WING; PRATT, 2006).

A marcha é um movimento rítmico, no qual sua cadência é influenciada por um conjunto multifatorial, resultante da interação ou de processos auto organizados de sistemas neurais e mecânicos, entre os quais há uma circuitaria central inata conhecida

como Gerador de Padrão Central, conhecido como CPG (MACKAY-LYONS, 2002). Essas circuitarias têm a capacidade de gerar padrões de atividades rítmicas mesmo com a ausência de estímulo externo ou de controle supra espinhal, capaz de gerar padrões locomotores básicos e controlar a marcha. Apesar disso, os CPG são modulados por informações periféricas e supra espinhais (DUYSENS; FORNER-CORDERO, 2018).

A retroalimentação aferente sensorial se adapta constantemente, através de uma relação recíproca das respostas do CPG às exigências ambientais. Apesar da capacidade dos CPG para gerar um padrão rítmico para marcha, lesões cerebrais e medulares afetam radicalmente a marcha em humanos (MOLINARI, 2009), ou seja, é necessário um controle supra espinhal para a geração do padrão de marcha.

Em níveis supra espinhais, diversas áreas têm um papel relevante na ativação e no controle dos CPG. Regiões mesencefálicas e do diencéfalo têm um papel essencial no controle da marcha, assim como o cerebelo e áreas do córtex frontal e parietal (GRILLNER, 2003). Ou seja, a regulação dos CPG é realizada com base em informações provenientes de estímulos de nível supra espinhal e sensoriais, o que resulta em uma grande flexibilidade a adaptações do ritmo dada por estímulos sensoriais e volitivos.

Diversas áreas do sistema nervoso central são importantes para o controle do ciclo da marcha. Entre elas destacam o córtex pré-frontal e o cerebelo (JOHNS, 1991; TAKAKUSAKI, 2017), sendo estas áreas são umas das mais afetadas por distúrbios de sono (KILLGORE, 2010). Poucos estudos foram realizados analisando como que diminuição na duração de sono afeta no padrão da marcha. Em um estudo, utilizando a duração de sono autodeclarada, foi observado que indivíduos encontram dificuldades em andar em condições de marcha mais desafiadoras (marcha em tandem) em condição de dupla tarefa (AGMON; SHOCHAT; KIZONY, 2016)a. Um outro estudo, analisando a qualidade de sono a partir da actigrafia, identificou uma queda do desempenho na marcha em idosos com menor qualidade de sono, novamente utilizando a condição de dupla tarefa durante o teste de caminhada (HOWELL et al., 2018). Até o presente momento, não se tem conhecimento de outros estudos que avaliam o controle da marcha em diferentes tipos de restrição de sono utilizando medidas objetivas de actimetria, e comparando com a privação de sono aguda.

Desta forma, além da proposta da análise do controle postural sob a condição de *jetlag* social, vai ser avaliado avaliar como que a restrição de sono crônica associada ao padrão de extensão e a privação de sono aguda podem vir a afetar o desempenho em tarefas de controle em tempo real da marcha.

2. HIPOTESE

Nossa proposta é investigar a influência da restrição crônica e aguda de sono, em respostas cognitivas-motores nas tarefas de controle postural e sincronização da marcha a partir de estímulos auditivos. Sabe-se que a diminuição da duração do sono pode vir a afetar o controle em tempo real dos movimentos devido a problemas encontrados em áreas cerebrais relacionadas a demandas cognitivas, atencionais e de controle motor.

A ideia inicial foi realizar um estudo multicêntrico, realizando agrupamento de coletas em diferentes instituições de diferentes estados do Brasil, com diferentes características demográficas. No entanto, sabe-se que o nível de urbanização está relacionado diretamente com a prevalência de distúrbios de sono. Desta forma, a primeira hipótese do trabalho é:

1 A rotina diária em cidades cosmopolitas, como São Paulo, pode vir a desencadear mudanças no padrão do sono quando comparado com uma cidade de contexto mais rural (Barbacena/MG).

Apesar do uso da actimetria ser utilizada para caracterização do ritmo sono/vigília, poucos parâmetros estão diretamente associados com a diminuição da qualidade de sono. Assim:

2 Parâmetros comumente utilizados para identificação de fases e propriedades na ritmicidade circadiana estão relacionados a qualidade de sono autodeclarada dos indivíduos.

Em relação ao desempenho de controle postural, poucos estudos foram publicados analisando condições de restrição de sono crônica. E nenhum estudou o fenômeno do *jetlag* social como possível desencadeador de problemas posturais. Dessa forma:

3- Alterações de sono decorrente do *jetlag* social, geram perturbações no controle postural.

4-Tarefas de controle postural com tarefas mais desafiadoras evidenciam de forma mais proeminente os efeitos do *jetlag* social no equilíbrio.

Adicionalmente, não existem estudos que avaliam objetivamente o sono e as consequências no controle da marcha. Não há evidências de como se dá a sincronização sensório-motora em marcha orientada pelo metrônomo em sujeitos com privação e restrição de sono. Assim, especula-se:

5 - Diferentes rotinas de duração de sono afetam de forma diferente o controle da marcha orientada pelo metrônomo.

6 - Quanto mais intensa for a restrição de sono, mais severa são as consequências na capacidade de sincronização sensório-motora da marcha orientada pelo metrônomo.

3. OBJETIVOS

Avaliar o impacto da restrição crônica e da privação aguda de sono no desempenho do controle motor.

3.1. Objetivos Específicos

Identificar diferenças em parâmetros de sono obtidos por actimetria e questionários em indivíduos residentes em uma metrópole comparado com uma cidade de contexto rural.

Identificar parâmetros objetivos por meio da actimetria relacionados à qualidade de sono e sonolência.

Identificar parâmetros que evidenciem a restrição de sono causado pelo padrão de restrição e extensão da fase de sono (*jetlag* social).

Avaliar o desempenho na tarefa de controle postural antes e após a recuperação do débito de sono provocada pelo *jetlag* social

Identificar quais intervenções experimentais na tarefa de controle postural evidenciam as diferenças no controle postural

Avaliar as alterações motora da caminhada orientada por metrônomo sob influência da restrição crônica e privação aguda do sono.

4. METODOLOGIA

Para cumprir os objetivos propostos e tentar responder as hipóteses levantadas, foram propostas uma série de experimentos com um enfoque multidisciplinar. As etapas de coletas e intervenções experimentais estão descritas abaixo (Figura 2).

Coletas de parâmetros subjetivos e objetivos para caracterização do sono dos indivíduos:

- Coleta de informações relacionadas a qualidade do sono, sonolência e cronotipos a partir de questionários – Utilização do questionário de matutividade e vespertividade de Horne e Otsberg, Índice de qualidade de sono de Pittsburgh e a Escala de sonolência de Epworth
- Medidas de actimetria para a identificação de parâmetros de sono e de ritmicidade circadiana

A partir da coleta de actimetria e de questionários é possível realizar algumas análises. Foi realizada a comparação dos parâmetros de sono em uma cidade de ambiente predominantemente rural (Barbacena-MG) com uma metrópole (São Paulo-SP). Adicionalmente, foi explorada a associação entre parâmetros de actimetria com escores obtidos por questionários da sonolência diurna e de qualidade de sono autodeclarada.

Posteriormente, foram realizados experimentos biomecânicos e de controle motor para avaliar a interação entre restrição/privação do sono no desempenho:

- Teste de Controle Postural sob efeitos do *jetlag* social
- Controle da caminhada orientada por um ritmo auditório de um metrônomo com mudanças subliminais de período.

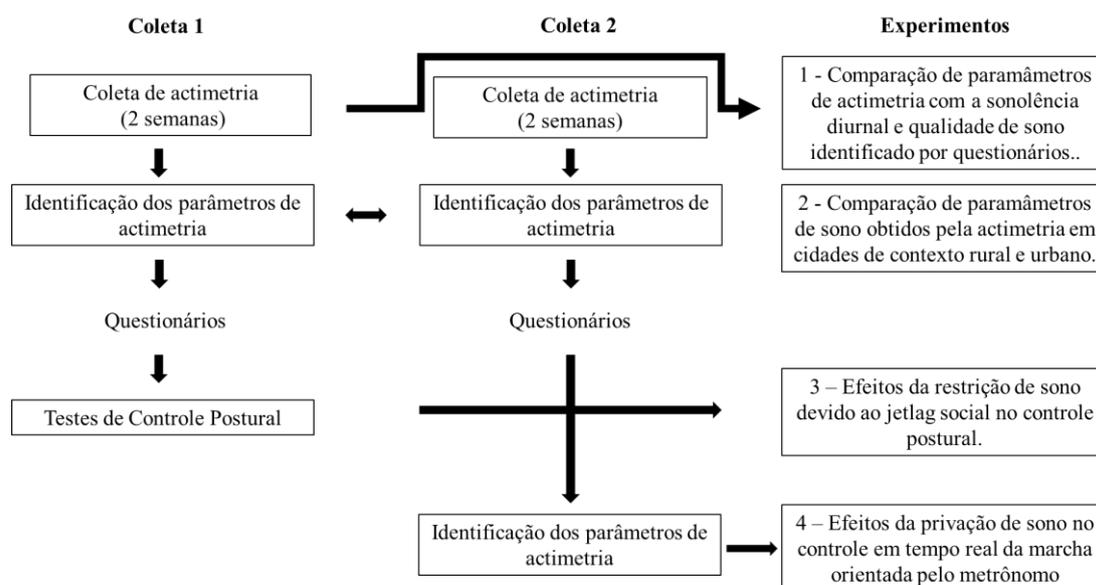


Figura 2. Desenho experimental do estudo desenvolvido. Este desenho resultou em três experimentos distintos, (1, 2, 3 e 4).

Inicialmente, em cada uma das intervenções experimentais, os voluntários preencheram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, e responderam o Questionário de Cronotipos (HO). Foi solicitado que fosse utilizado um actímetro para monitoramento do ritmo de atividade/repouso, de onde é obtido os parâmetros de ritmo e sono. Após a coleta de dados da actimetria (14 dias ininterruptos), no dia da coleta dos testes motores foi realizada uma análise antropométrica e preenchimento dos questionários de Pittsburgh e Epworth (Anexo), que avaliam características de qualidade de sono e sonolência.

4.1 Utilização de questionários de sono e de cronotipos

O Índice de Qualidade de Sono de Pittsburgh (PSQI)(BUYSSSE et al., 1989) avalia distúrbios de sono e qualidade de sono subjetivamente. Este questionário tem 19 itens individuais que geram pontuação de sete componentes: qualidade de sono subjetiva, latência de sono, duração de sono, eficiência habitual de sono, distúrbios de sono, uso de medicamentos hipnóticos e disfunção diurna. A pontuação das respostas é baseada em uma escala de 0 a 3. Uma soma global igual ou acima de “5” pode indicar problemas no sono.

A Escala de sonolência de Epworth (ESS) (JOHNS, 1991) é um questionário que mensura os níveis gerais de sonolência diurna. Os sujeitos devem responder, em uma

escala de 0 a 3, as probabilidades de cochilar ou dormir. Quanto maior a pontuação, maior o nível de sonolência diurna. Usando um limiar de pontuação total maior que 10, é possível identificar indivíduos com grande possibilidade de sonolência diurna excessiva. Pontuação acima de 16 significa sonolência severa. O PSQI e o ESS são dois questionários comumente utilizados para avaliação de sono (BUYSSSE et al., 2008; MONDAL et al., 2013).

O questionário de cronotipos (MEQ-HO) desenvolvido por Horne e Ötsberg (HORNE; OSTBERG, 1976) é composto por 19 questões de múltipla escolha cujo o resultado final varia de 16 a 86. Sujeitos com menor pontuação no questionário são classificados como matutinos, enquanto sujeitos com maior pontuação são classificados como vespertinos (BENEDITO-SILVA et al., 1990).

Os questionários foram utilizados no nosso estudo para o controle prévio dos grupos antes das análises, de modo a assegurar que as diferenças e associações observadas em nossos testes não sofram influência de condições prévias dos sujeitos que não foram utilizadas como objeto central do estudo nas análises.

A partir dos parâmetros de categorização de sonolência e índice de qualidade do sono, os indivíduos foram divididos em dois grupos para a comparação com parâmetros obtidos pela análise de actimetria.

4.2 Análise da actimetria para identificação de parâmetros de sono

Para a análise a partir da actimetria foi utilizado o actímetro comercial ActTrust® (Condor Instruments Ltda, Brasil) (Figura 2).



Figura 3. O actímetro Actitrust

O parâmetro M10 é definido como assoma das cinco horas consecutivas de maior atividade no dia. O parâmetro L5 é definido como soma das cinco horas consecutivas de menor atividade do dia. Altos valores desta variável estão relacionados com maior movimentação durante a fase de sono. A amplitude relativa é calculado da seguinte forma:

$$AR = \frac{M10 - L5}{M10 + L5}$$

A variabilidade intradiária (IV) é calculada no programa Actstudio utilizando os dados de actimetria a partir da seguinte fórmula:

$$IV = \frac{\sum_{i=2}^N (X_i - X_{i-1})^2 N}{(N - 1) \sum_{i=1}^N (X_i - X_m)^2}$$

Este parâmetro é utilizado para detectar fragmentação do ritmo de atividade. Um alto valor de IV é usualmente um indicativo de sono diurnos e/ou despertares noturnos.

A estabilidade interdiária (IS) é calculada no programa Actstudio a partir da seguinte fórmula:

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^p (X_h - X_m)^2 N}{(p) \sum_{i=1}^N (X_i - X_m)^2}$$

Em um trabalho realizado analisando actimetria, Moore-Ede e colaboradores (MOORE-EDE; SULZMAN; FULLER, 1982) afirmam que mudanças no valores do IS podem indicar uma perda no acoplamento entre o ritmo de atividade/repouso, sendo utilizados como marcadores de estabilidade, uma vez que o IS tem a tendência em diminuir conforme as mudanças de ritmo entre os dias aumentam.

O tempo total de sono (TST) e a eficiência do sono foram obtidas pela a análise do ritmo de atividade/repouso no software, baseado no algoritmo de Cole-Kripke (COLE et al., 1992). As análises dos parâmetros de sono a partir da actimetria foram obtidas a partir do programa ActStudio (Figura 4 - Condor Instruments Ltda., SP, Brasil). A partir do TTS diário, também é possível identificar os valores de meia fase do sono (MFS), utilizado para identificar o padrão de restrição e extensão do sono (*jetlag* social), seguindo a seguinte formula:

$$MFS = 0.5 * TST + SONO_{\text{inicio}}$$

Desta forma, é possível comparar tanto os tempos de sono, quanto a meia fase do sono dos indivíduos, de modo a identificar padrões de restrição e extensão de sono em dias úteis e livres, identificando assim privação crônica de sono ocasionada pelo fenômeno de *jetlag* social.

A partir dos parâmetros de sono obtidos pelos dados de actimetria, foi realizada a comparação de parâmetros de sono de indivíduos residentes em uma cidade de ambiente predominantemente rural (Barbacena-Mg) com uma metrópole (São Paulo-SP).

4.3 Análise dos testes de controle motor

Para a análise dos testes de controle motor duas tarefas foram realizadas, sendo uma em restrição de sono crônica, identificada pelo *jetlag* social, avaliando o controle postural e outra avaliando as alterações nos ajustes de marcha orientada por metrônomo em indivíduos sob restrição de sono crônica e privação de sono aguda.

4.3.1 Análise da tarefa de Controle Postural

Em um primeiro experimento de controle motor, a intenção foi investigar as alterações do controle postural sob a influência do *jetlag* social, identificado a partir da análise de actimetria.

O Controle Postural (CP) foi avaliado usando a plataforma de força *Biodex Balance System*® (BBS, Biodex Inc Shirley, NY USA – Figura 5). A BBS consiste em uma plataforma que pode inclinar em até 20° ao longo de sua circunferência e pode mover nos eixos anteroposterior (AP) e médio-lateral (ML) simultaneamente.

O software proprietário da BBS (Biodex, Version 1.08, Biodex, Inc., Shirley, NY USA) permite o controle e a medição de dados pela plataforma. O índice de estabilidade (IE), fornecido pela BBS, é um score baseado na variação do deslocamento da plataforma (índice de estabilidade anteroposterior, índice de estabilidade médio-lateral, e índice de estabilidade geral). Valores altos do IE indicam um pior controle postural uma vez que esse deslocamento é relacionado com oscilações no centro de pressão (COP).



Figura 5. Plataforma de Força Biodex Balance System (<https://www.biodex.com/>)

Os sujeitos foram solicitados a em pé sobre a plataforma, descalços e com os pés ligeiramente afastados e os braços em posição anatômica. Os pés se mantiveram em uma posição padrão em todos os testes. Antes de cada sessão de experimentos, foram realizados ensaios de familiarização para garantir que as tarefas foram entendidas e seriam realizadas corretamente antes das gravações.

Quatro testes foram realizados para analisar a influência da restrição de sono e *jetlag* social no controle postural, envolvendo redução de informação cinestésica e visual, na habilidade de reagir a mudanças de inclinação na plataforma, ou na habilidade de ter o controle ativo da postura. Os testes consistiam em:

- Teste de postura estático com privação sensorial plantar (TPE) (uma espuma sobre a plataforma) realizados de olhos abertos (TPE-OA) e de olhos fechados (TPE-OF). Os participantes foram instruídos a ficar sobre a plataforma com a espuma em uma postura de repouso por 30 segundos;
- Teste de postura com instabilidade fixa (TPF) com olhos abertos (TPF-OA) e com olhos fechados (TPF-OF). Os participantes foram instruídos em tentar manter seu Centro de Pressão (COP) estável por 30 segundos, enquanto a plataforma apresentava uma instabilidade fixa de inclinação da plataforma.

- Teste de postura com instabilidade variável (TPV) com olhos abertos (TPV-OA) e com olhos fechados (TPF-OF). Os participantes eram instruídos em tentar manter o seu COP estável por 30 segundos enquanto a plataforma muda progressivamente de uma situação mais estável para uma mais instável.
- Teste de postura dinâmico (TPD). Os participantes foram orientados em mover o cursor sobre a tela que mostra a posição do COP em tempo real utilizando alterações posturais, para alcançar pontos cardinais e intercardinais que aparecem aleatoriamente, de forma mais rápida e direta possível (Figura 6). Foram realizados testes que exigiam maior controle (TPD – maior) e menor controle postural (TPD – menor) do voluntário.

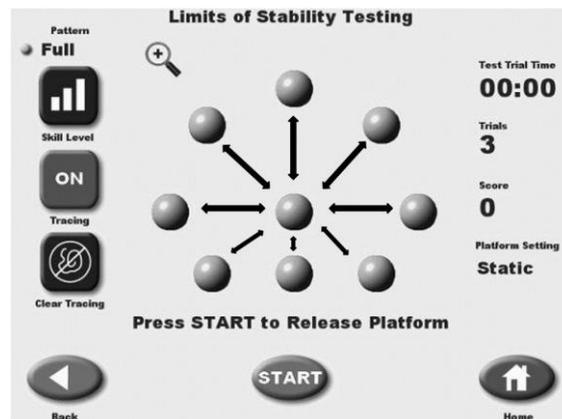


Figura 6. Teste de postura Dinâmico (TPD). O indivíduo deve controlar o cursos que utilizando o controle postural como referência para cada uma das localizações conforme o andamento do teste. (<https://www.biodex.com/>)

Todos os testes foram realizados duas vezes, com um intervalo de dois minutos entre os testes. O índice médio de estabilidade (IE), fornecido pelo software proprietário, foi utilizado como a medida do CP nos testes TPE, TPF, e TPV, e quanto maior o valor apresentado, pior o controle postural apresentado no teste. No teste TPD, um percentual de pontuação reflete a acurácia do movimento, ou seja, menores valores significam pior controle postural ativo.

4.3.2 Análise da tarefa de marcha orientada pelo metrônomo

No teste de marcha orientada pelo metrônomo, 30 sujeitos, sem distúrbios cognitivos, motores ou sensoriais, e sem experiência prévia em nosso protocolo participaram do nosso experimento. Eles foram divididos em três grupos: Grupo Controle (GC, n=10) em que há uma recuperação de sono nos fins de semana, Grupo com Restrição Crônica de sono (GRC, n = 10) em que não se observa uma recuperação no sono nos finais de semana e o grupo com privação aguda de sono (GPA, n=10) grupo em que os indivíduos foram submetidos a privação total de sono de uma noite. Após a coleta de actimetria por 14 dias, os participantes do GC e GRC realizaram os testes na sexta feira, entre as 08:30 e 14:00h.

Os participantes do GPA, chegaram no laboratório na quinta-feira no fim da tarde, para serem submetidos ao protocolo de privação de sono aguda. Os voluntários foram instruídos a ficar acordados até o término dos testes realizando a mesma rotina que eles fariam se estivessem acordados em suas casas. Desta forma, foi permitido estudar, assistir TV, jogar vídeo games e ler livros livremente. O consumo de cafeína ou estimulantes não foi permitido.

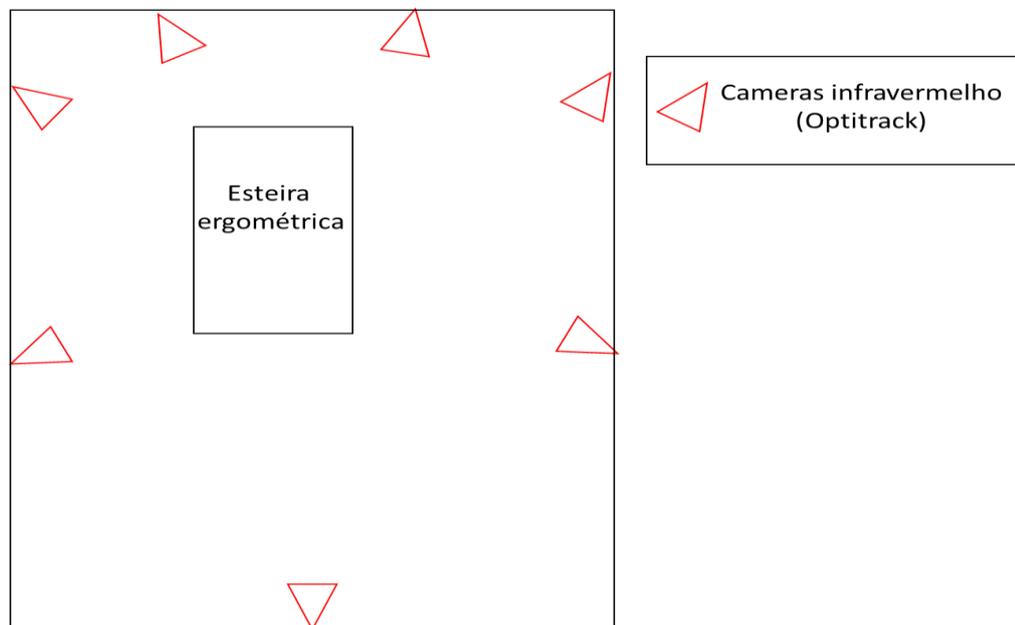


Figura 7. Esquema de posicionamento do sistema de captação cinemática optitrack no laboratório de experimentos. O posicionamento das câmeras garante a gravação sem interferências e ruídos

Os participantes foram solicitados a caminhar em uma esteira ergométrica (Movement LX-160, Brudden, Brasil) com a velocidade fixa em 1.11 m/s e receberam a

instrução de sincronizar cada passo com um estímulo auditório rítmico (bipe do metrônomo). Dois marcadores reflexivos foram colocados nos calcanhares direito e esquerdo que foram monitorados por sete câmeras infravermelhas (Flex 13, Optitrack, USA – Figura 7) com uma taxa amostra de 120 Hz. As trajetórias tridimensionais foram reconstruídas pelo software Motive (Natural Point, USA).

Um metrônomo foi desenvolvido baseado na plataforma Arduino Uno (Arduino, Itália) com um programa desenvolvido em Visual Basic (Microsoft Visual Studio, USA), de modo a gerar um pulso de *led* infravermelho em sincronia com um estímulo sonoro. De forma aleatória e balanceada, os indivíduos realizaram três testes em cada condição experimental.

Na primeira condição experimental os indivíduos foram solicitados a caminhar em sincronia com um metrônomo isócrono (566 ms) por 231 passos. Na segunda e terceira condição, pistas de metrônomo isócronas foram dadas por 59 passos até o incremento/decrécimo de um milissegundo a cada dois bipes até 596 ms ser introduzido. Em seguida, pistas isócronas (de 596 ms) foram apresentadas por 30 passos seguidos de um decréscimo/incremento de 1ms a cada dois bipes voltando para 566ms e, finalmente, 26 passos com este mesmo período entre os bipes (Figura 4). Desta forma, três condições de marcha acompanham com metrônomo são apresentadas: metrônomo isócrono (MET-A), metrônomo com período crescente (MET-BF); Metrônomo com período decrescente (MET-GK) (Figura 8)

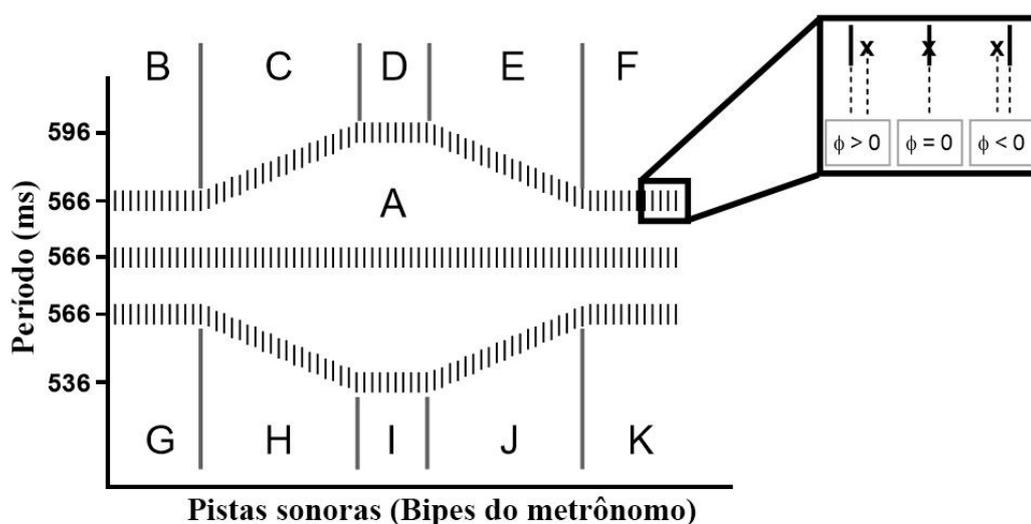


Figura 8. Representação esquemática do período do metrônomo das três condições experimentais no teste de marcha. Na ampliação, há as três situações que podem vir a ocorrer na tentativa de sincronizar o passo com o bipe: quando o passo (marcado por 'x'). Figura adaptada de Forner-Cordero et al (2019)

As variáveis cinemáticas foram obtidas e processada por algoritmos construídos no MATLAB (2009b, MathWorks, USA). As coordenadas dos marcadores refletoras foram filtrados digitalmente utilizando um filtro *Butterworth* passa baixa de quarta ordem em 12 Hz. Uma vez que o instante do passo foi determinado, o ângulo de fase de sincronização foi calculado como ângulo de fase relativa discreto:

$$\phi = \left(\frac{[r(i) - s(i)]}{T} \right) * 360,$$

Onde ϕ é o ângulo de fase relativa discreto, $s(i)$ e $r(i)$ são respectivamente o momento do estímulo (pista sonora) e resposta (passo); e T é o período de tempo do metrônomo. Da fase relativa, três possíveis situações podem ser obtidas: uma fase relativa negativa (antecipação a pista sonora), uma fase relativa positiva (atraso a pista sonora) ou uma coincidente (eventos coincidentes entre o passo e a pista temporal). Uma fase relativa de zero, ou coincidente, foi considerada um sucesso quando a fase relativa foi menor que 8,3 milissegundos, uma vez que esta é a resolução temporal de aquisição cinemática. As fases relativas absolutas foram utilizadas para comparar os ângulos de fase de sincronização com o metrônomo entre as diferentes fases.

Durante o experimento foi observado que participantes perdiam algumas pistas temporais. Estes eventos foram gravados para análise. Para evitar um erro sistemático da análise, a pista temporal perdida foi removida e a próxima fase relativa foi calculada a partir do passo mais próximo da pista sonora.

Também foi calculada a diferença entre os períodos de passo e metrônomo:

$$\varphi = |(\text{passo}(i)) - (\text{metronomo}(i))|,$$

onde φ é o valor absoluto da diferença dos períodos de passo e metrônomo. As variáveis passo (i) e metrônomo (i) são respectivamente o período entre dois passos ou dois bipes do metrônomo consecutivos.

Através do processamento e análise cinemática da marcha também foram obtidos parâmetros de tempo (período do passo) e de espaço (largura e comprimento do passo) na marcha durante todas as etapas de coleta. Também foram identificados erros na

sincronização da marcha, caracterizados pela mudança da referência do bipe do metrônomo no acoplamento com a marcha.

4.4 Metodologia de análise de dados

A análise de dados foram realizadas agrupadas em quatro experimentos: a) Comparação de parâmetros de actimetria com a sonolência diurna e qualidade do sono acessada por questionários; b) Comparação de parâmetros de sono identificados por actimetria entre indivíduos residentes em uma cidade do interior (Barbacena-MG) e uma grande metrópole (São Paulo/SP); c) Comparação de parâmetros de controle postural sob influência do *jetlag* social; d) Análise da marcha orientada pelo metrônomo sob influência da privação de sono. As análises estatísticas foram realizadas no software Sigmaplot 11.0 (Systat Software Inc, Germany).

Nas análises de dados de parâmetros de actimetria com questionários, 41 sujeitos foram divididos em dois grupos baseados pelo nível de sonolência acessado pelo questionário de Epworth ou pelo índice de qualidade de sono de Pittsburgh. Para a comparação dos parâmetros de actimetria, foram realizados os testes de Levene e Shapiro-Wilk para verificar a heterocedasticidade e normalidade dos dados, e posteriormente o teste t de Student para a comparação dos grupos.

Para as análises de comparação entre indivíduos moradores de Barbacena e São Paulo, foram realizados os testes de Levene e Shapiro-Wilk para verificar a heterocedasticidade e normalidade dos dados. Após essa análise, o teste U de Mann-Whitney foi utilizado para comparar os grupos. Para exemplificar a magnitude das diferenças entre os grupos, foi feito o *Delta Cliff* (δ), um teste não-paramétrico para tamanho de efeito, com o intervalo de 95% de confiança

Para as comparações dos dados de controle postural sob influência do *jetlag* social, os parâmetros de sono e ritmo bem como os resultantes dos testes da tarefa de postura foram analisados. Inicialmente os dados foram inspecionados visualmente para detectar possíveis *outliers*. Após, os testes de Levene e Shapiro-Wilk foram realizados para verificar a homocedasticidade e distribuição normal da amostra. Para comparar a diferença entre os testes realizados após os dias de trabalho e os dias livres, foi realizado um teste-t pareado para os parâmetros de sono (Início do sono – IN_{sono} ; Despertar – FIM; Tempo total de Sono – TTS; score da Escala de Sonolência de Epworth – ESS; e Meia Fase do Sono – MFS) e de controle postural (TPE; TPF; TPV) para olhos abertos (OA)

e fechados (OF) e na tarefa de controle postural dinâmico (TPD). As magnitudes das diferenças dos parâmetros de CP foram indicadas pelo gráfico de tamanho de efeito de Dunlap com 95% de intervalo de confiança.

No teste de marcha orientada pelo metrônomo, os indivíduos foram divididos no grupo controle (GC, n=10), grupo com sono restrito (GRC, n=10) e grupo com privação de sono aguda (GP, n=10). Após a inspeção visual, os testes de Shapiro-Wilk, Levene e Mauuchly foram realizados para checar a normalidade, homocedacidade e esfericidade dos dados, respectivamente. Teste t pareado foi utilizado para comparar os escores do ESS do grupo de privação aguda entre o dia do experimento e antes da privação aguda. A anova de um fator foram utilizadas para comparar as diferenças dos parâmetros de sono e ritmo entre os grupos. Para comparar as diferenças entre os grupos e fases no comprimento do passo, fase relativa entre o passo e o bipe do metrônomo, e período do passo com o período do metrônomo uma anova de dois fatores foi realizada, com o teste post-hoc de Tukey. O nível de significância de todos os testes foi definido para 0,05.

5. RESULTADOS

5.1 Comparação de parâmetros de actimetria com a sonolência diurna e qualidade de sono identificados por questionários.

A partir da amostra inicial de 41 sujeitos de questionários e actimetria, os indivíduos foram divididos em dois grupos. A divisão baseada nos resultados no Índice de qualidade de sono de Pittsburgh foi determinada pelo limiar de 5 pontos na pontuação total (Grupo 1 = pontuação total <5, n=21; Grupo 2 pontuação total >5, n=20). A divisão a partir dos dados do questionário de sonolência diurna de Epworth seguiu a mesma lógica, utilizando o limiar de 10 pontos na pontuação total (Grupo 1 = pontuação total <10, n=21; Grupo 2 pontuação total >10, n=20). Desta forma, os Grupos 1 são caracterizados por ter melhor qualidade de sono ou menor sonolência autodeclarada do que os Grupos 2.

Tabela 2. Comparação dos parâmetros obtidos pela análise de actimetria entre os grupos com melhor (Grupo1) e Pior (Grupo2) sonolência e qualidade de sono obtidos pelo questionário ESS e PSQI. Os asteriscos e o p em negrito significam teste t independente $p < 0.05$ (Dados previamente publicados em Forner-Cordero e colaboradores (2018a))

Parâmetros de actimetria		Questionários					
		ESS – Média (DP) p			PSQI- Média (DP) p		
ISm	Grupo1	0,309	(0,0794)	p=0,23	0,321	(0,0779)	p=0,71
	Grupo2	0,343	(0,1000)		0,331	(0,1040)	
IV	Grupo1	0,724	(0,0939)	p=0,21	0,731	(0,0893)	p=0,11
	Grupo2	0,677	(0,1438)		0,670	(0,1442)	
M10	Grupo1	3290422	(689010)	p=0,32	3183031	(615794)	p=0,07
	Grupo2	3570038	(1086026)		3682799	(1089727)	
L5	Grupo1	46617	(45562)	p=0,26	40144	(18360)*	p=0,04
	Grupo2	63912	(51216)		70708	(64117)*	
Ra	Grupo1	0,972	(0,0226)	p=0,22	0,974	(0,0132)	p=0,11
	Grupo2	0,963	(0,0263)		0,961	(0,0318)	

A partir da análise dos resultados, diferenças significativas entre os grupos divididos pelo PSQI são observadas nos valores de L5 (Tabela 2). Indivíduos que têm uma menor qualidade de sono no PSQI têm um maior valor de L5 quando comparados com indivíduos que tem uma melhor qualidade de sono ($F=7,428$; $t= -2,097$; $p= 0,043$, Tabela 2 – Figura 9). No entanto, não há diferenças quando os grupos são separados a

partir do agrupamento pelo questionário ESS. Nenhuma outra diferença estatística foi observada

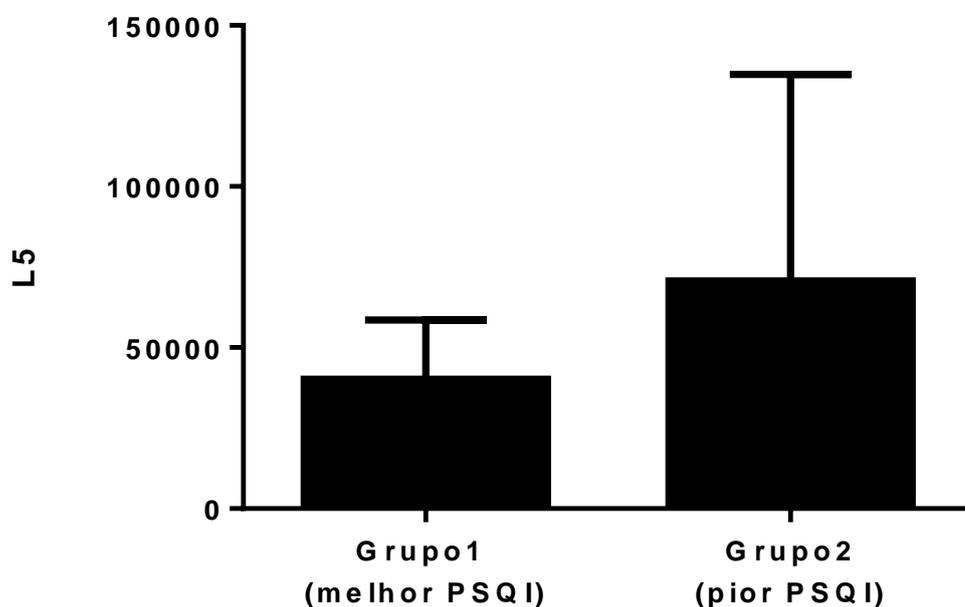


Figura 9. Gráfico de comparação dos valores de movimentação durante o repouso (L5) para os grupos com melhor qualidade de sono (Grupo1) e pior qualidade de sono (Grupo2) identificados pelo PSQI. Há diferença significativa entre os dois grupos (Teste t de student $p < 0,05$). Dados previamente publicados em Forner-Cordero e colaboradores (2018a)

5.1 Restrição de sono causada pela vida moderna: comparação de parâmetros de sono entre São Paulo (SP) e Barbacena (MG)

Para identificar as consequências da vida moderna em uma metrópole nos parâmetros de sono, realizamos comparações entre estudantes de um ambiente urbano (grupo urbano – GU; $n = 26$) e estudantes de um ambiente rural (grupo rural – GR; $n=28$). Os dois grupos têm medianas similares de idade ($GU_{Mdn} = 22$ $GR_{Mdn} = 21$, com $U = 332$ e $p = 0,576$), o mesmo índice de massa corporal ($GU_{Mdn} = 23,6$ e $GR_{Mdn} = 22,5$, com $U = 293$ e $p = 0,222$), o mesmo cronotipo medido pelo MEQ-HO ($GU_{Mdn} = 49,5$ e $GR_{Mdn} = 48,5$, com $U = 340$ e $p = 0,684$), a mesma qualidade de sono medida pelo PSQI ($GU_{Mdn} = 6,0$ e $GR_{Mdn} = 6,0$, com $U = 311$ e $p = 0,357$) e a mesma sonolência diurna medida pelo ESS ($GU_{Mdn} = 10,0$ e $GR_{Mdn} = 9,5$, com $U = 297$ e $p = 0,247$).

Tabela 3. Parâmetros de sono obtidos por actimetria do grupo de contexto urbano (São Paulo/SP) e Rural (Barbacena/MG) os valores de p marcado em negrito significam diferenças estatísticas entre os grupos (Teste U de Mann-Whitney - $p < 0.05$) Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2017b)

	Grupo Urbano	Grupo Rural	U	p
	Mediana [Q1 – Q3]	Mediana [Q1 – Q3]		
L5	217,8 [156,8 – 378,0]	116,1 [90,9 – 190,9]	195	0,004
TST (min)	370 [350 – 420]	430 [404 – 459]	213	0,009
SE (%)	0,878 [0,837 – 0,896]	0,905 [0,878 – 0,940]	204	0,024
IV (%)	0,720 [0,631 – 0,863]	0,693 [0,613 – 0,787]	325	0,505

A partir dos grupos separados, foram realizadas análises dos parâmetros de sono a partir da actimetria. A partir das variáveis analisadas, é observada diferença estatística entre os dois grupos experimentais em todas as variáveis, com exceção ao IV (Tabela 3-Figura 10).

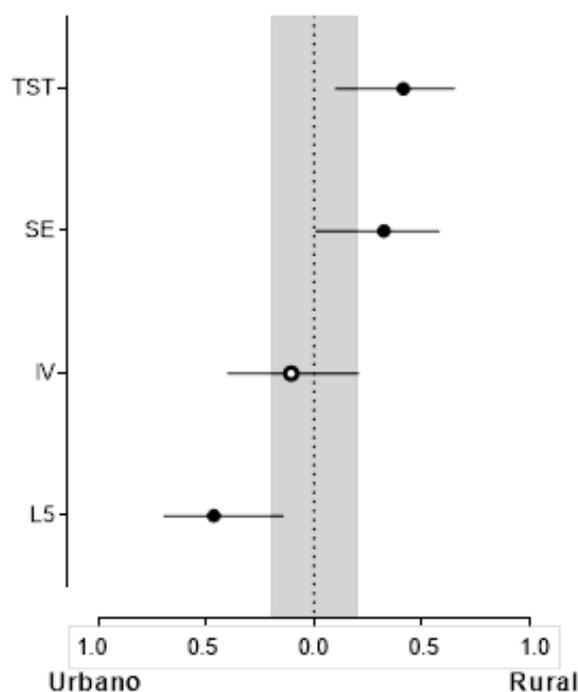


Figura 10. Tamanho de efeito Delta de Cliff com intervalo de confiança de 95% na comparação entre os grupos urbano e rural. O ponto central em preto demonstra diferenças significativas ($p < .05$) entre os grupos. A área em cinza especifica o intervalo em que o efeito do tamanho das diferenças entre os grupos é trivial ($-0.2 < \delta < 0.2$). Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2017b)

5.2 Efeitos do *jetlag* social no controle postural

Para identificar alterações no controle postural sob influência do *jetlag* social, inicialmente os indivíduos foram caracterizados em relação ao cronotipo ($HO=48,83 \pm 9,48$ pontos, com $9:45 \pm 1:37$ horas de sono desejada) e ao índice de qualidade de sono ($6,87 \pm 3,22$ pontos no questionário PSQI). Após essa caracterização inicial, os parâmetros de sono foram comparados entre os dias de trabalho (segunda a sexta) e dias livres (sábado e domingo). As médias e desvios padrão dos parâmetros de sono estão apresentados na tabela 4. Foram observadas diferenças significativas em todos os parâmetros observados ($p < 0,05$ no teste t pareado), exceto na pontuação do questionário de Epworth.

Tabela 4. Valores dos parâmetros de sono obtidos por actimetria e questionário de Epworth nos dias de trabalho e dias livres. os valores de p marcado em negrito significam diferença estatística entre dias de trabalho e dias livres no teste t pareado ($p < 0,05$). Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2018).

Parâmetros	Dias de trabalho		Dias Livres		t	P
	Media (DP)		Média (DP)			
INI_{sono}	23:46	(01:16)	00:50	(01:37)	2,807	0,010
FIM_{sono}	07:38	(01:16)	09:18	(01:43)	5,574	<0,001
TTS (horas)	7,69	(1,00)	8,48	(1,03)	3,306	0,003
ESS (pontuação)	8,60	(3,96)	9,00	(3,81)	1,418	0,167
MFS (hh:mm)	03:42	(01:11)	05:04	(01:35)	4,382	<0,001

Também foram observadas diferenças estatisticamente significativas na comparação dos parâmetros de controle postural quando comparados os testes realizados no último dia de trabalho (sexta-feira) com o primeiro dia após os dias livres (segunda-feira – Tabela 5).

Tabela 5. Média e desvio padrão do Índice de Estabilidade (IE) ou percentual de acurácia (%) das oito condições de controle postural nos testes realizados na sexta-feira e na segunda-feira: Teste de postura estático com olhos abertos (TPE-OA) e fechados (TPE-OF); teste de postura com instabilidade fixa com olhos abertos (TPF-AO) e fechados (TPF- OF); teste de postura com instabilidade variável com os olhos abertos (TPV – AO) e fechados (TPV-OF); Teste de postura dinâmico com maior (TPD-maior) e menor (TPD-controle) do usuário. Os valores de p em negrito significam diferenças estatísticas entre os testes (Teste t pareado $p < 0.05$). Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2018).

Parâmetros	Sexta-feira		Segunda feira		t	P
	Média	(desvio padrão)	Média	(desvio padrão)		
TPE-OA (IE)	1,06	(0,31)	1,13	(0,37)	-1,542	0,134
TPE OF (IE)	2,52	(0,65)	2,58	(0,57)	-0,688	0,497
TPF OA (IE)	1,54	(0,67)	1,28	(0,41)	2,622	0,015
TPF OF (IE)	5,44	(2,20)	5,24	(2,07)	1,423	0,167
TPV OA (IE)	1,48	(0,53)	1,36	(0,63)	1,005	0,323
TPV OF (IE)	3,88	(1,73)	3,36	(1,42)	2,985	0,006
TPD menor (%)	32,05	(7,51)	37,67	(7,86)	-5,034	<0,001
TPD maior (%)	33,17	(8,47)	36,97	(8,91)	-3,533	0,001

Foram observadas diferenças significativas em parâmetros de sono. A diminuição da duração de sono, com a mudança de fase da MFS são indicadores da possibilidade dos indivíduos estarem com um padrão de restrição e extensão do sono, característico do de *jetlag* social.

Também é possível observar diferenças nos parâmetros de controle postural. Foram observadas diferenças significativas nos testes de postura com instabilidade fixa, na condição de olhos abertos (TPF-OA), no teste de postura com instabilidade variável, na condição de olhos fechados (TPV-F), e nos dois testes de controle postural dinâmico (TPD), seja em maior ou menor dificuldade. Os valores observados nos testes realizados após os dias livres, que são os dias de descanso, são consistentemente melhores que os dos testes realizados na sexta-feira, após os dias de trabalho.

A magnitude das diferenças entre os testes realizados na segunda-feira e sexta-feira são demonstrados na Figura 11, que exemplificam o efeito do tamanho amostral de Dunlap para as diferenças entre os dias de testes para cada condição realizada.

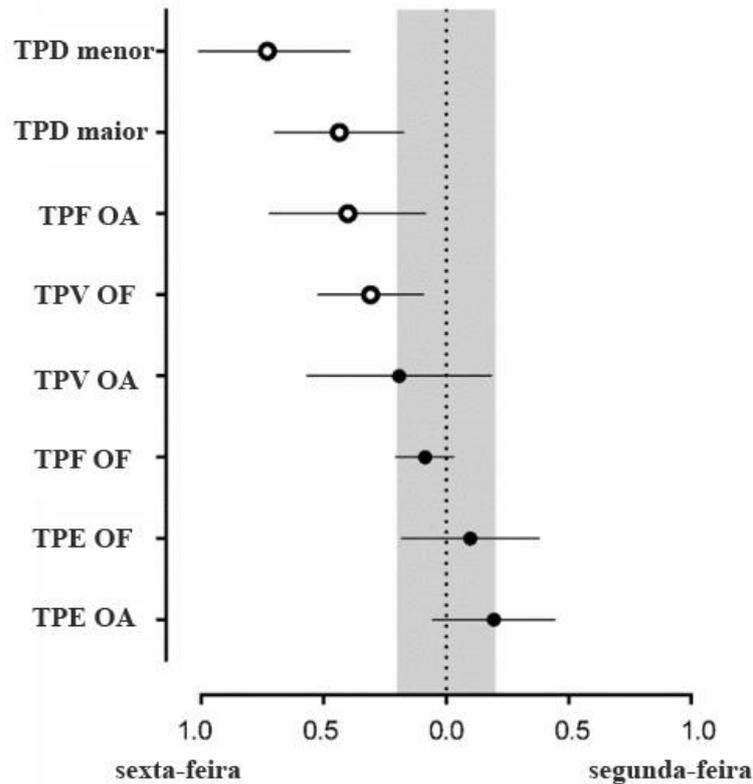


Figura 11: Tamanho de efeito de Dunlap com intervalo de confiança de 95% entre os testes de controle postural realizados na sexta e segunda-feira. O ponto central em preto demonstra diferenças significativas ($p < .05$) entre os testes. A área em cinza especifica o intervalo em que o efeito do tamanho das diferenças entre os grupos é trivial ($-0.2 < \delta < 0.2$). Dados previamente publicados em Umemura e colaboradores (2018)..

Como um resumo dos resultados apresentados para a tarefa de postural, podemos observar a evidência do fenômeno de *jetlag* social, com base na diminuição do tempo total de sono e no deslocamento da meia fase do sono nos dias de trabalho quando comparado com os dias livres. Em relação aos parâmetros de CP, foi observada uma queda de desempenho nos testes realizados na sexta-feira, dia de maior acúmulo de restrição de sono crônica, com os testes realizados na segunda-feira, dia em que supostamente se há o menor acúmulo de restrição de sono crônica.

5.3 Restrição crônica e aguda de sono afetam habilidade de sincronização auditoria da marcha

A proposta inicial da análise dos dados de controle da marcha era a divisão dos indivíduos em dois grupos distintos: grupo de privação aguda e grupo controle. Ao analisar os parâmetros obtidos pela actimetria, foi observado que todos os sujeitos estavam com mudanças significativas de meia fase do sono nos dias livres, caracterizando o *jetlag* social. Adicionalmente, é observada uma duração do sono abaixo do esperado para este grupo amostral, sendo que em uma parcela do grupo amostral é observada uma extensão da duração do sono nos finais de semana (Tabela 6).

Tabela 6 Média e desvio padrão dos parâmetros de sono e ritmo circadiano obtidos por questionários e actimetria dos grupos controle, grupo de sono restrito e grupo de privação aguda. * significa diferença significativa entre os grupos demarcados, ** significa diferença significativa com os demais grupos (Anova de um fator com post hoc de Tukey, $p < 0.05$).

Parâmetros de sono e ritmo	Grupo Controle		Grupo Sono Restrito		Grupo Privação Aguda		FP-valor
HO	43,30	± 13,90	49,44	± 10,74	46,30	± 9,79	0,66 ^{0,525}
PSQI	5,00	± 2,45*	8,20	± 3,05*	7,50	± 1,72	4,656 ^{0,018}
ESS	9,50	± 4,62	9,90	± 3,31	20,00	± 4,28**	18,092 ^{<0,001}
TST dias de trabalho (horas)	5:58	± 0:52	6:21	± 0:43	6:42	± 1:30	1,084 ^{0,354}
TST dias livres (horas)	8:15	± 1:12	6:26	± 0:49*	7:18	± 1:47	4,592 ^{0,020}
Débito de TST (horas)	2:16	± 0:54	0:05	± 0:53**	0:36	± 1:36	9,514 ^{<0,001}
Início sono dias de trabalho (horas)	0:15	± 1:29	0:29	± 1:34	0:08	± 0:59	1,47 ^{0,864}
Início sono dias livres (horas)	0:27	± 1:31	1:47	± 1:41	1:14	± 1:22	1,802 ^{0,187}
Diferença Início sono (Horas)	0:12	± 0:44	1:18	± 1:20	1:06	± 1:17	2,514 ^{0,102}
MFS dias de trabalho (horas)	3:36	± 1:18	4:04	± 1:27	3:29	± 0:49	0,552 ^{0,583}
MFS dias livres (horas)	4:58	± 1:43	5:23	± 1:52	4:54	± 1:03	0,230 ^{0,796}
Diferença MFS (horas)	1:22	± 0:58	1:18	± 1:14	1:24	± 1:22	0,16 ^{0,984}
Eficiência do sono (%)	0,89	± 0,04	0,87	± 0,04	0,89	± 0,03	0,57 ^{0,573}
IS	0,26	± 0,07	0,21	± 0,07	0,26	± 0,08	1,35 ^{0,278}
IV	0,75	± 0,13	0,73	± 0,17	0,71	± 0,10	0,196 ^{0,823}

Desta forma, para estudar o controle da marcha orientada pelo metrônomo, os indivíduos foram divididos em três grupos: Grupo Controle (GC: n=10; $21,8 \pm 2,28$ anos, $23,68 \pm 1,68$ IMC) em que é observada uma recuperação significativa sono nos fins de semana de cerca 2:15 horas (teste t pareado $p < 0,001$), Grupo de Sono Restrito Crônico (GRC: n=10; $21,7 \pm 2,27$ anos, $22,99 \pm 1,88$ IMC), em que não é observada uma recuperação de sono nos finais de semana significativa com uma duração de sono nos dias de semana similar ao do grupo controle (teste t pareado $p > 0,05$), e o Grupo de Privação Aguda de Sono (GPA: n=10; $21,8 \pm 3,07$ anos, $21,01 \pm 3,37$ IMC) em que os sujeitos foram submetidos a um protocolo de privação de sono aguda de uma noite (Tabela 6).

Não houve diferenças significativas na distribuição dos cronotipos, com todos os grupos estando dentro de valores caracterizados como indivíduos de cronotipos intermediários.

A duração de sono durante os dias de semana é similar em todos os grupos, não havendo diferenças significativas. Na recuperação do sono nos finais de semana, o grupo de sono restrito crônico tem uma recuperação de sono menor do que dos outros dois grupos: cerca de 30 minutos menor do que o grupo de privação aguda e de mais de duas horas de diferença quando comparado com o grupo controle.

Em todos os grupos é observada uma mudança estatisticamente significativa (teste t pareado) na meia fase de sono durante os finais de semana. No entanto não há diferença estatística entre os grupos nos horários da meia fase de sono nos dias de trabalho ou nos dias livres, assim como na amplitude de mudança da meia fase de sono entre os dias de trabalho e livres.

É observado valores maiores na qualidade de sono acessada pelo PSQI no grupo de sono restrito quando comparado ao grupo controle. No entanto não foram observadas diferenças significativas na eficiência de sono avaliado pela actimetria entre todos os grupos, assim como em distúrbios de estabilidade e fragmentação da ritmicidade circadiana (IS e IV).

Não foram observadas diferenças significativas na largura do passo. A largura do passo é similar tanto entre os grupos quanto entre todas as fases de marcha orientada com o metrônomo (A até K) ou na ausência dele (\emptyset) (Figura 12).

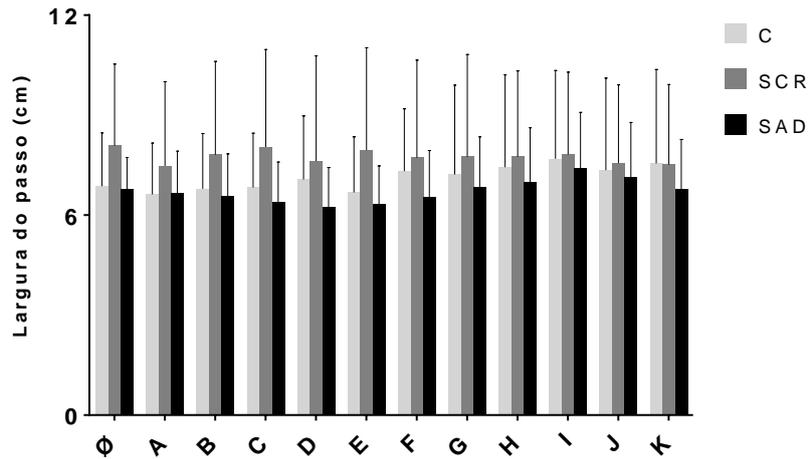


Figura 12. Largura do passo ao longo das diferentes fases da marcha orientada pelo metrônomo no Grupo Controle (GC), Grupo com Restrição Crônica (GRC) e Grupo de Privação de Sono Aguda (GPA). Não foram observadas diferenças significativas entre as fases. Umemura et al. (submetido)

Em relação ao comprimento do passo, diferenças são observadas (Figura 13 – Tabela 6). De forma geral, durante todas as fases, com exceção das fases H, I e J, há uma mudança no comprimento do passo na marcha orientada com o metrônomo quando comparada com a marcha sem metrônomo (Fase Ø). Entre as fases dos testes são observadas mudanças significativas no comprimento do passo, quando comparados com a fase de metrônomo sem mudança de período nas fases em que houve uma diminuição da frequência do metrônomo (Fases D e E).

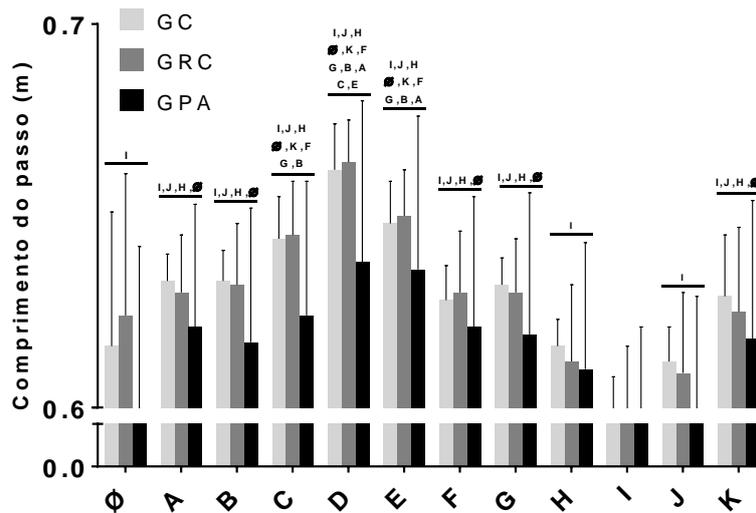


Figura 13. Comprimento do passo ao longo das diferentes fases da marcha orientada pelo metrônomo no Grupo Controle (GC), Grupo com Restrição Crônica (GRC) e Grupo de Privação de Sono Aguda (GPA). as letras significam as diferenças dos efeitos principais das fases do teste. Umemura et al. (submetido)

Adicionalmente, é possível observar uma diferença no comprimento do passo entre as etapas que o metrônomo fica mais lento (C, D e E) com as etapas em que o metrônomo fica mais rápido (H, I, J) há um aumento do comprimento do passo quando há um maior período do metrônomo, ou seja, quando o metrônomo fica mais lento, o passo têm uma maior amplitude. Apesar de observada mudança em relação das fases, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos no comprimento do passo.

Tabela 7. Média (desvio padrão) para o comprimento do passo e o período do passo ao longo das fases dos testes para o grupo controle (GC), grupo de sono restrito (GRC), e grupo de privação crônica. Os valores em negrito significam diferença estatística (Anova mista de dois fatores de medidas repetidas $p < 0.05$)

Variável	Grupo	Comprimento do passo (cm)			Período do passo (ms)		
		GC	GRC	GPA	GC	GRC	GPA
FASE Média (DP)	Ø	62 (4)	62 (4)	60 (4)	553 (31)	563 (25)	541 (33)
	A	63 (1)	63 (2)	62 (3)	566 (1)	566 (1)	562 (9)
	B	63 (1)	63 (2)	62 (4)	567 (2)	566 (2)	561 (10)
	C	64 (1)	65 (1)	62 (4)	580 (1)	580 (1)	571 (13)
	D	66 (1)	66 (1)	64 (4)	596 (1)	596 (2)	581 (22)
	E	65 (1)	65 (1)	64 (4)	582 (1)	583 (1)	576 (14)
	F	63 (1)	63 (2)	62 (3)	566 (2)	565 (2)	562 (9)
	G	63 (1)	63 (1)	62 (4)	566 (2)	566 (3)	562 (10)
	H	62 (1)	61 (2)	61 (3)	552 (1)	551 (1)	550 (6)
	I	60 (1)	59 (3)	59 (3)	536 (2)	535 (2)	536 (5)
	J	61 (1)	61 (2)	60 (3)	550 (1)	550 (1)	548 (6)
K	63 (2)	63 (2)	62 (4)	567 (2)	565 (4)	562 (11)	
Anova (F ^p)	F _{Grupo} ^p	1,1 ^{0,360}			-		
	F _{Fase} ^p	61 ^{<0,001}			-		
	F _{Inter} ^p	1,5 ^{0,057}			-		

As fases relativas entre o metrônomo e o apoio do pé ao solo foram computados durante todos os testes nas três condições de metrônomo: Metrônomo isócrono, ou seja, com período fixo (MET A - Figura 14, linha 1); Metrônomo não isócrono com período crescente (MET BF - Figura 14, linha 2); Metrônomo não-isócrono com período decrescente (MET GK - Figura 14, linha 3). Visualmente é possível observar uma maior variação dos dados nas fases relativas no grupo de privação de sono aguda (GPA).

O gráfico da nuvem de pontos de todos indivíduos de cada grupo nas diferentes situações do metrônomo são interessantes para uma análise inicial da adaptação às mudanças proporcionadas pelo metrônomo. É possível observar visualmente uma maior

nitidez no comportamento da nuvem de pontos seguindo o metrônomo no grupo controle e no grupo de sono restrito.

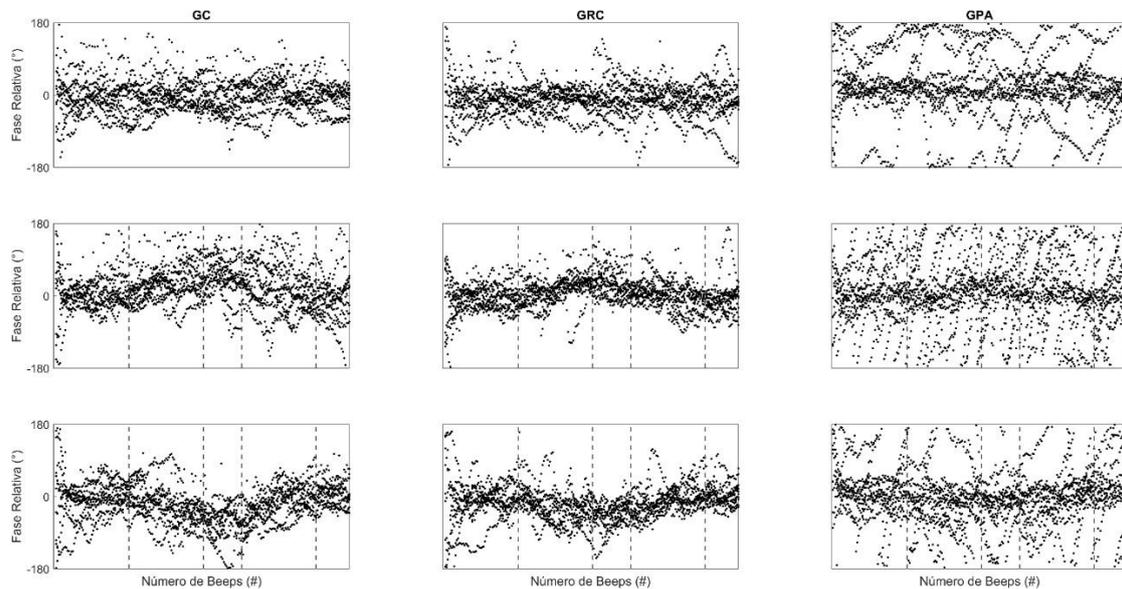


Figura 14. Dispersão da fase relativa ao longo dos testes (MET A, MET BF, MET GK) para os grupos controle (GC), grupo de sono restrito (GRC) e grupo de privação aguda (GPA). É possível notar uma maior variabilidade nos dados do grupo GPA. Umemura et al. (submetido)

Os dados de fase relativa do passo com o metrônomo foram agrupados em eventos em que o passo precede o metrônomo (antecipação), eventos nos que o passo acontece após o bipe do metrônomo (atraso) e eventos em que o passo acontecem em coincidência com o metrônomo (acerto). A figura 15 mostra a frequência (em porcentagem) ao longo do teste. É possível observar visualmente que nas fases iniciais de metrônomo isócrono (A,B e G) no grupo controle a distribuição de atrasos e antecipações parecem estar distribuídas uniformemente.

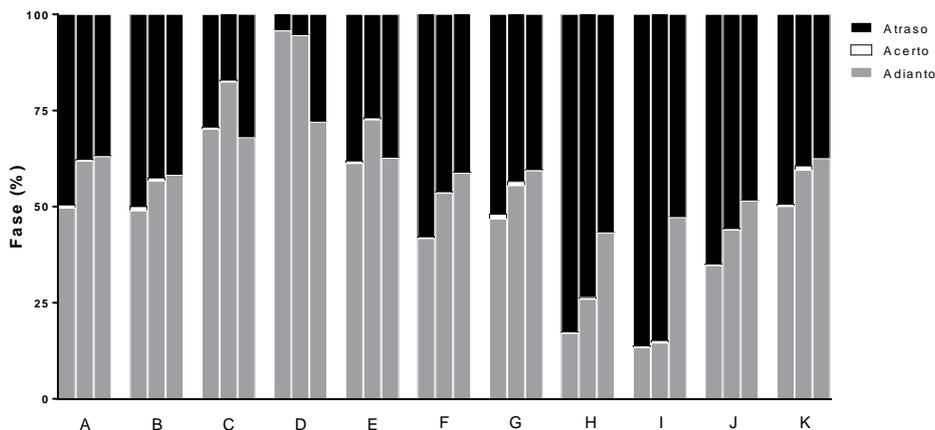


Figura 15. Frequência (em porcentagem) de antecipação (cinza), atraso (preto) e acerto (branco) ao longo das fases do metrônomo (A a K). Grupo controle (GC): primeira coluna de cada fase, grupo de restrição crônica (GRC): segunda coluna e grupo de privação aguda (GPA), terceira coluna de cada fase. Umemura et al. (submetido)

Na análise da fase relativa do passo com o metrônomo, foram observadas diferenças nos efeitos principais de fases do metrônomo ($F_{10,270} = 4.439, p < 0,001$ -Figura 16). A fase relativa com menor frequência do metrônomo é significativamente maior que as fases A, B, E, F, G, H, K e J. No entanto, não foram observadas diferenças entre os grupos ($F_{2,270} = 2.787, p = 0,079$), nem entre os fatores ($F_{2,270} = 2.787, p = 0,079$).

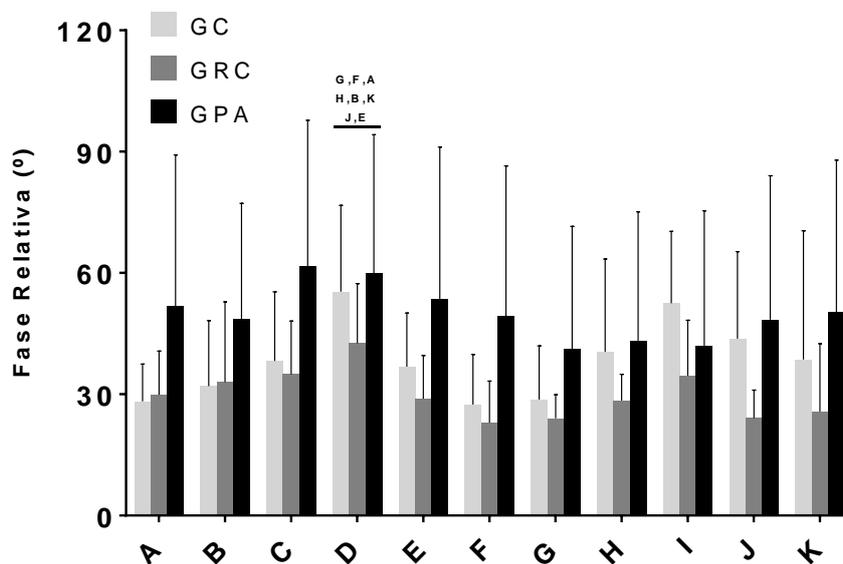


Figura 16. Fase relativa (em graus) entre o bipe do metrônomo e o contato do calcanhar no solo ao longo das diferentes fases da marcha orientada pelo metrônomo no Grupo Controle (GC), Grupo com Restrição Crônica (GRC) e Grupo de Privação de Sono Aguda (GPA). As letras significam diferenças estatísticas entre as fases ao longo do teste. Umemura et al. (submetido)

Ao partir da análise da fase relativa, foi observado em todos os sujeitos do grupo de privação aguda (GPA) eventos de total dessincronização com o metrônomo que, como consequência, resultava no adiantamento ou atraso de um bipe do metrônomo por completo (Figura 17). Em outras palavras, os sujeitos de privação aguda de sono tinham um erro de sincronização total com o metrônomo, de forma a perder completamente o acoplamento com os estímulos sonoros, seja por adiantar ou atrasar do ritmo da caminhada.

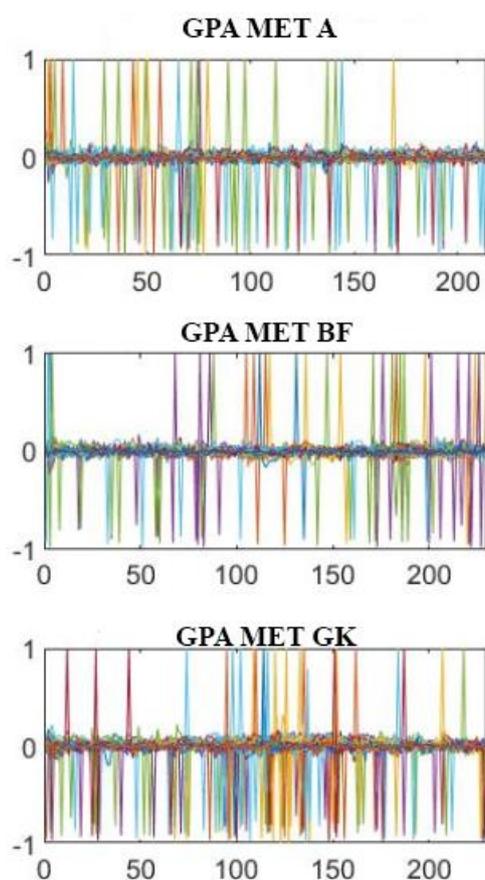


Figura 17. Erros de sincronização observados durante a marcha no grupo de privação aguda (GPA). Cada pico negativo corresponde a um adiantamento em relação ao bipe do metrônomo e cada pico positivo corresponde a um atraso em relação ao bipe do metrônomo. Cada cor representa um sujeito do grupo. Os outros grupos não estão representados, pois não há observação de erros de sincronização.

Os erros de sincronização, caracterizados pela mudança referencial do bipe do metrônomo para o controle da marcha, aconteceu em 70% dos indivíduos do grupo de privação aguda para os testes com o metrônomo não-isócrono (MET BF e MET GK) e em 60% do no teste de metrônomo isócrono (MET A) (Figura 18). Nenhuma ocorrência de erro de sincronização foi observada nos grupos controles ou de privação aguda, independente do teste realizado.

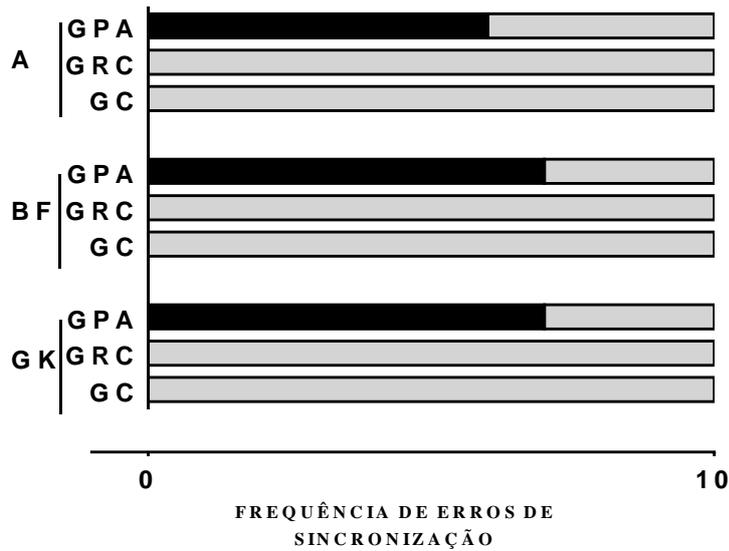


Figura 18. Frequência de indivíduos que apresentaram erros de sincronização na marcha orientada pelo metrônomo por grupo (Grupo controle – GC ; Grupo de sono Restrito – GRC; Grupo de privação aguda de sono – GPA) em cada situação do metrônomo (MET A; MET BF e MET GK). Umemura et al. (submetido)

Estas mudanças de fase abruptas com o metrônomo geram valores extremos positivos e negativos da fase relativa do metrônomo com o passo, o que foi observado visualmente no gráfico das fases relativas com o metrônomo (Figura 19), o que caracteriza numa maior variabilidade na sincronização.

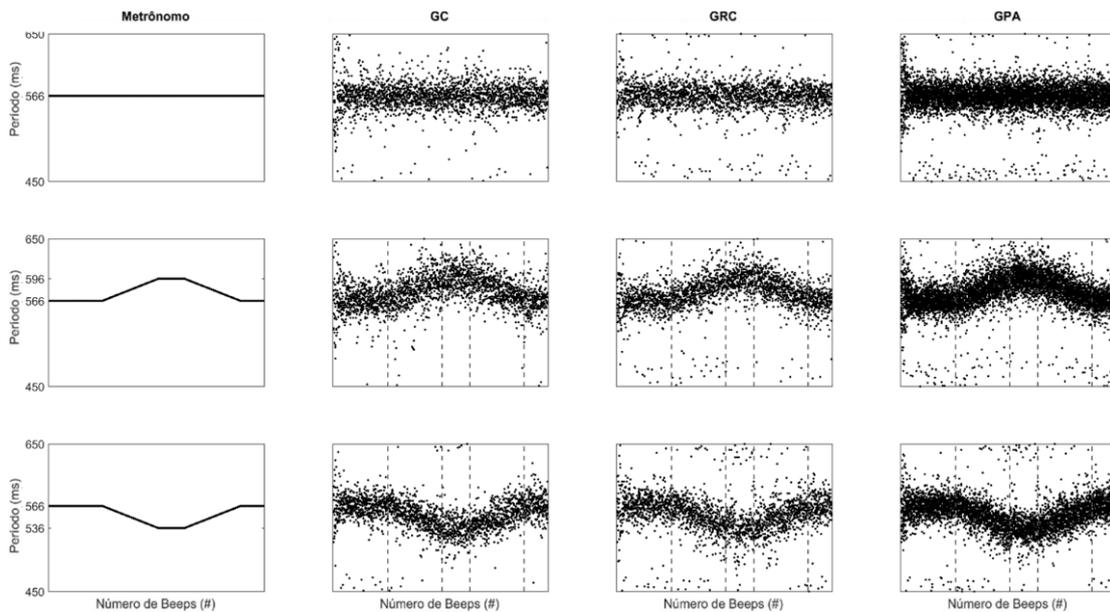


Figura 19. Gráfico de dispersão dos períodos dos passos ao longo do teste para o grupo controle (GC), grupo de sono restrito (GRC) e grupo de privação aguda (GPA). Umemura et al (submetido)

Ao comparar o período médio do metrônomo com o período médio dos passos (Fase relativa do período do passo – Tabela 8) de forma a avaliar se há ajustes do padrão

de marcha orientados pelo metrônomo, é possível perceber diferentes ajustes quando comparado o grupo de privação aguda com os grupos controles e restrição de sono crônica.

Tabela 8. Média (desvio padrão) para a fase relativa do passo (em graus) e das diferenças período do passo (em milissegundos) ao longo das fases dos testes para o grupo controle (GC), grupo de sono restrito (GRC), e grupo de privação crônica. * significa diferença significativa entre os grupos demarcados, ** significa diferença significativa com os demais grupos (Anova mista de dois fatores de medidas repetidas $p < 0.05$)

Variável	Fase relativa do passo (°)			Diferenças do período do passo (ms)				
	Grupo	GC	GRC	GPA	GC	GRC	GPA	
Ø		-	-	-	-	-	-	
A		28,26 (9,20)	29,85 (10,79)	51.70 (37.46)	0,6 (0,5)	0,5 (0,4)	4,6 (8,7)	
B		32,03 (16,17)	33,00 (19,85)	48.48 (28.75)	1,9 (1,3)	2,3 (0,9)	5,9 (9,3)	
C		38,24 (17,07)	34,93 (13,14)	61.56 (36.20)	1,3 (0,5)	1,3 (0,8)	10** (12,8)	
D		55,37 (21,35)	42,61 (14,76)	59.99 (34.21)	1,6 (1,2)	0,9 (0,6)	15,3** (22,2)	
E	FASE - Média (DP)	36,79 (13,27)	28,86 (10,73)	53.57 (37.54)	1,8 (1,1)	1,1 * (0,8)	8,0* (12,3)	
F		27,43 (12,38)	22,95 (10,29)	49.26 (37.19)	1,6 (1,1)	1,6 (1)	5,2 (8,7)	
G		28,67 (13,30)	24,03 (5,84)	41.12 (30.38)	2,4 (1,3)	1,9 (0,9)	5,4 (8,9)	
H		40,51 (22,96)	28,44 (6,48)	43.26 (31.87)	1,0 (0,7)	1,3 (1,1)	4,0 (4,3)	
I		52,50 (17,75)	34,60 (13,70)	41.89 (33.45)	1,6 (1,5)	1,5 (1,6)	2,7 (4)	
J		43,75 (21,53)	24,07 (6,93)	48.43 (35.59)	1,1 (0,8)	1,1 (1)	4,2 (5,5)	
K		38,58 (31,85)	25,72 (16,76)	50.32 (37.59)	2,0 (3,0)	1,4 (1,5)	6,0 (9,5)	
Anova (F _p)		F _{Grupo} ^P	F _{2,270} = 2,787, p = 0,079			F _{2,270} = 3,373, p = 0,049		
		F _{Fase} ^P	F _{10,270} = 4,439, p = 0,001			F _{10,270} = 2,681, p = 0,004		
		F _{Inter} ^P	F _{20,270} = 1,444, p = 0,102			F _{20,270} = 2,663, p = 0,001		

Nas fases em que há mudanças do período do metrônomo, o grupo de privação aguda é estatisticamente diferente dos outros dois grupos, que mantiveram a fase relativa estável durante todo o teste. No grupo de privação de sono aguda observa-se um aumento das diferenças absolutas entre os períodos do metrônomo e dos passos de acordo oscilações subliminares geradas pelo metrônomo, com mudanças significativas das amplitudes das diferenças ao longo das fases do teste (Figura 20).

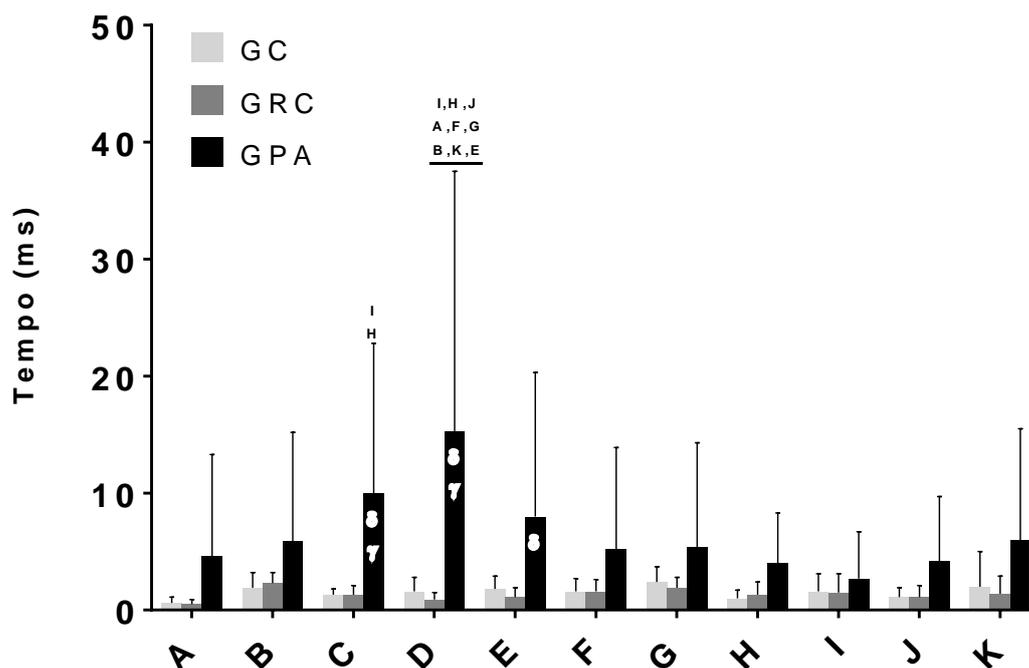


Figura 20. Média das diferenças absolutas (em ms) do período do metrônomo e do período de passo ao longo das diferentes fases de ritmo do metrônomo da marcha orientada pelo metrônomo no Grupo Controle (GC), Grupo com Restrição Crônica (GRC) e Grupo de Privação de Sono Aguda (GPA). as letras significam as diferenças das fases do metrônomo, os símbolos dentro das colunas significam diferenças significativas entre os grupos GPA com GC (γ) e GRC (δ). Umemura et al (submetido)

O número de passos que acontecem em total coincidência com o metrônomo foram computados para cada fase e utilizados em comparações entre os grupos. Nas fases isócronas iniciais (Fases A, B e G), o grupo de privação aguda tem um menor número de acertos quando comparado com os grupos controle e de restrição do sono crônica. Adicionalmente, na Fase A, em que há uma maior duração, o grupo controle tem um maior número de acertos do que o grupo com restrição de sono crônica (Figura 21).

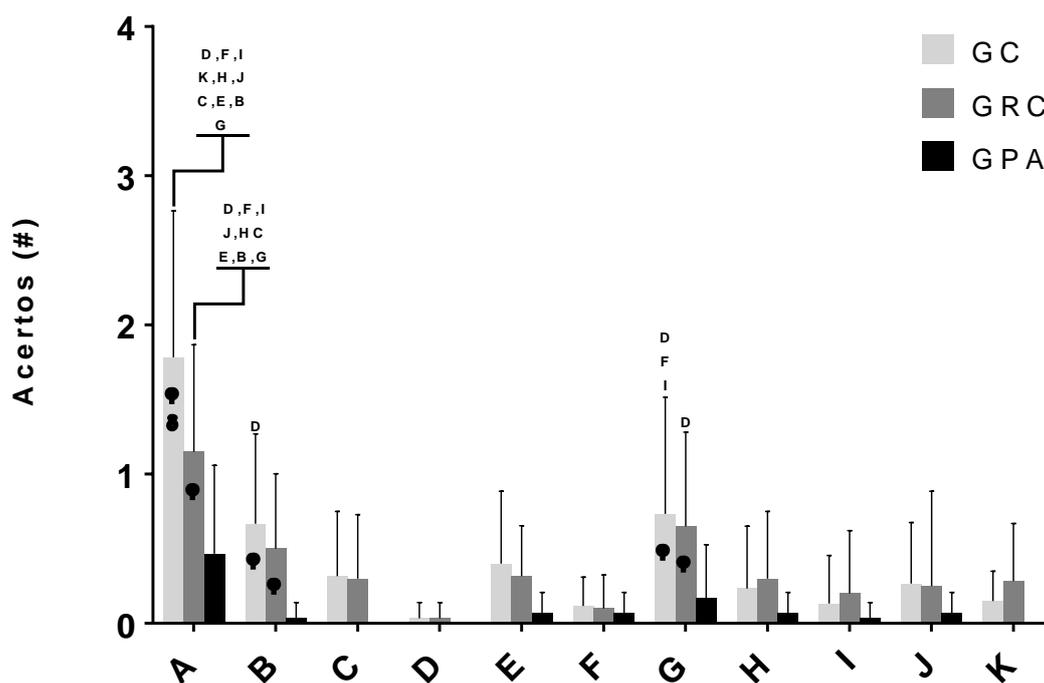


Figura 21. Média e desvio padrão do número de acertos de passo com o metrônomo do Grupo Controle (GC), Grupo de restrição de sono crônica (GRC) e grupo de privação de sono aguda (GPA) em cada fase do metrônomo. As letras significam efeitos principais de diferenças entre as fases e os símbolos indicam diferenças de efeitos principais entre grupos (ϕ : maior que o GPA; δ : Maior que o GRC – Anova de dois fatores). Umemura et al. (submetido)

Desta forma, podemos afirmar que é possível detectar mudanças no padrão da marcha orientada pelo metrônomo quando comparamos os grupos com diferentes condições de sono. No grupo de privação aguda de sono foi com ocorrência de eventos de erros de sincronização e com uma maior oscilação do período médio da caminhada quando comparado com o período médio do metrônomo. Adicionalmente há um menor número de acertos do passo com o bipe do metrônomo, este último teste que conseguiu diferenciar os três grupos na condição de metrônomo isócrono, representado pela fase A.

6. DISCUSSÃO

Em um contexto geral, a partir dos resultados observados na condução dos experimentos, é possível observar que alterações do sono afetam negativamente o desempenho em tarefas motoras: Há uma diferença no padrão de sono em ambientes de contexto mais urbano do que em contexto rural; é observado efeitos do *jetlag* social no controle postural, principalmente em tarefas que demandam maior cognição; e há uma perda de sincronização da marcha com as oscilações do metrônomo no controle em tempo real da marcha identificadas no grupo de privação aguda e sono restrito. As discussões de cada experimento serão divididas em subcapítulos conforme o desenho experimental proposto.

6.1 Distúrbios de sono decorrentes da vida moderna em áreas urbanizadas.

Uma diferença significativa entre as populações urbanas e rurais foi observada. Sujeitos que vivem em ambiente rural dormem mais tempo que sujeitos em ambientes com alto nível de urbanização. Em outras palavras, isso sugere que a população urbana sofre mais com a restrição de sono que a população de ambiente rural. Este fato está relacionado com a necessidade do cumprimento de todas as obrigações de trabalho e sociais. Esta restrição de sono que é comum em ambientes urbanos está associada com uma alta prevalência de doenças como depressão, abuso de substâncias como o tabaco, e de distúrbios metabólicos como a obesidade (ALVAREZ; AYAS, 2004; WITTMANN et al., 2006; KORCZAK et al., 2008).

Sobre a análise da restrição e qualidade do sono pela actimetria, altos valores de L5 significa maior movimentação ou despertares durante a fase de sono, que pode comprometer a qualidade do repouso, resultando em mais doenças e distúrbios relacionados a privação de sono. Altos valores de L5 também são observados em pacientes com problemas neurológicos como em indivíduos com Alzheimer e Parkinson (GONÇALVES et al., 2014), cujo a qualidade de sono e os ritmos circadianos estão deteriorados. Observamos na análise na comparação de parâmetros de actimetria com questionários de sonolência e qualidade do sono que altos valores de L5 estão associados a indivíduos com uma menor qualidade de sono obtida no questionário de Pittsburgh.

Na comparação dos grupos que vivem em contexto urbano e rural, apesar dos valores de PSQI e ESS serem similares em ambos os grupos, sujeitos do ambiente urbanos

têm valores maiores de L5 quando comparado com o grupo rural, o que pode significar uma diminuição na qualidade de sono. Em estudos avaliando o desempenho motor, foi observado que indivíduos com valores mais altos de L5 apresentam um menor desempenho na execução das tarefas (FURTADO et al., 2016).

Os valores da eficiência do sono obtidos pela análise objetiva da actimetria corrobora a ideia de que os sujeitos do ambiente urbano são piores dormidores, não apenas no tempo total de sono, mas também demonstram uma pior qualidade no sono.

Louzada e Menna-Barreto (LOUZADA; MENNA-BARRETO, 2004) observaram uma diminuição na duração de sono nos dias de semana em jovens adolescentes que vivem em na capital de São Paulo/Brasil quando comparado com uma cidade do interior e do litoral do estado de São Paulo. As mudanças na duração são resultado da mudança dos horários de dormir e acordar, que são mais tardios no grupo de jovens adolescentes da capital. Os autores afirmam que as principais causas dessas mudanças estão relacionadas a necessidade de cumprir com as obrigações sociais de estudo.

Estudos prévios realizados no Brasil já relataram diferenças de sono quando comparado grandes centros urbanos com cidades de contexto rural. A simples disponibilidade de energia elétrica e televisão está associada a horários mais tardios de dormir e despertar em jovens adolescentes (LOUZADA; MENNA-BARRETO, 2004). Em um outro estudo realizado no Rio Grande do Sul, os autores afirmam que indivíduos de contexto rural têm uma maior exposição à luz natural e maior qualidade de sono quando comparados com o grupo de contexto urbano (CARVALHO; HIDALGO; LEVANDOVSKI, 2014).

Em alguns trabalhos já realizados, os autores os relacionam a vida em áreas rurais com a tendência das pessoas de apresentarem o cronotipo mais matutino do que quando vivem em grandes centros urbanos (LOUZADA; MENNA-BARRETO, 2004; NAG; PRADHAN, 2012; CARVALHO; HIDALGO; LEVANDOVSKI, 2014). Nestes estudos, uma maior matutividade está relacionada com uma maior exposição a ritmicidade da luz natural ambiental, ou seja, o ciclo claro/escuro.

Nag e Pradhan afirmam que mudanças no modo de vida pode vir a afetar sua preferência de horários de tarefas (NAG; PRADHAN, 2012). Eles observaram que em contexto mais urbanizado há uma maior prevalência de indivíduos com hábitos vespertinos do que em contextos rurais com ou sem energia elétrica. Adicionalmente os

autores afirmam que, em seu grupo amostral, os indivíduos vespertinos têm uma maior prevalência à distúrbios de sono quando comparados com indivíduos matutinos.

Na vida em contexto urbano os indivíduos, além de passar menos tempo expostos à luz natural, estão expostos há uma maior incidência de ruídos na ritmicidade do ciclo claro/escuro. (ROENNEBERG; MERROW, 2007). Luzes artificiais de ambientes residenciais, complexos urbanos e dispositivos eletrônicos podem gerar sinais que deterioram a ritmicidade circadiana nos indivíduos (GREEN et al., 2020; VETTER, 2020). Estímulos luminosos, além de aumentar o estado de alerta (FAULKNER et al., 2020) podem gerar um sinal conflitante no sistema de temporização circadiana de modo a gerar novos ajustes circadianos, o que pode vir a gerar fragmentação da ritmicidade. No entanto, não foram observadas diferenças significativas no componente de fragmentação do ritmo circadiano.

O ciclo claro/escuro é o principal agente sincronizador da ritmicidade circadiana (MARQUES; MENNA-BARRETO, 2003). Uma maior exposição à luz natural pode proporcionar um ajuste circadiano mais robusto, com uma maior estabilidade das fases de sono. Infelizmente, neste estudo não foi possível avaliar o tempo de exposição à luz natural dos indivíduos, de modo que não pudemos usar este parâmetro como uma covariável nas análises.

Com base em nossos resultados, é possível afirmar que as obrigações sociais em grandes metrópoles forçam os indivíduos a adaptar o seu padrão de sono às suas atividades diárias. O atraso no início do sono devido ao ambiente de luz artificial e o acordar cedo devido às restrições impostas pelas obrigações sociais resultam em uma redução significativa na duração do sono e, conseqüentemente, qualidade de vida (ROENNEBERG; WIRZ-JUSTICE; MERROW, 2003).

Distúrbios de sono são associados com diversos problemas de saúde e funcionamento cerebral, que causam perda no desempenho nas tarefas diárias e no processo de aprendizagem, incluindo tarefas de controle motor. Sendo assim, é possível supor que indivíduos que têm distúrbios de sono, tenham um pior desempenho em tarefas de aprendizagem e controle em tempo real de movimentos.

Os resultados encontrados neste experimento tiveram uma influência crítica na avaliação dos experimentos biomecânicos. Devido às alterações das rotinas de sono associadas a um ambiente mais urbanizado, não houve a possibilidade de identificar um grupo com condições ótimas para ser denominado como grupo controle. Mudanças de

meia fase do sono significativas, caracterizando o *jetlag* social. foram observadas em todos os indivíduos.

Adicionalmente, todos os indivíduos pertencente aos grupos experimentais dos testes de marcha têm características de sono nos dias de trabalho semelhantes, com uma duração menor do que é esperado para este grupo amostral (ALVAREZ; AYAS, 2004). No entanto, apenas em uma parcela deste grupo é observada a extensão da duração de sono nos finais de semana, o que seria uma compensação desta restrição de sono. Desta forma, para os testes de marcha, existem três grupos sob influência do *jetlag* social, sendo um desses grupos a com recuperação de sono nos finais de semana, um que está restrito cronicamente por todo o tempo da coleta de actimetria e, por fim, um grupo que foi submetido à privação de sono aguda.

6.2 Efeitos da restrição crônica de sono no controle postural.

Diversos estudos já estudaram os efeitos da privação de sono aguda no controle postural (HAEGGSTROM; FORSMAN; WALLIN, 2006). Porém poucos são os estudos realizados em indivíduos sob efeitos de restrição de sono acumulada, (KARITA et al., 2006; SARGENT et al., 2012; FURTADO et al., 2016) e até então nenhum estudo realizou a abordagem de investigar os efeitos do *jetlag* social em testes de controle postural. A hipótese deste experimento é que a diminuição da duração de sono durante a semana afeta negativamente o desempenho postural. Desta forma, após a recuperação de sono durante os dias livres (final de semana), espera-se que os indivíduos tenham um melhor desempenho nos testes de CP quando comparados com os testes realizados na sexta-feira, dia em que há o maior acúmulo de débito de sono crônico. Para investigar esta hipótese, avaliamos um grupo de voluntários que utilizaram o actímetro durante duas semanas antes de realizar os testes de controle postural. A partir dos dados coletados pela actimetria, foi possível acessar o tempo total de sono nos dias de semana e fins de semana, e usar essas informações para identificar o padrão de sono dos indivíduos e, adicionalmente fazer as comparações do desempenho nos testes de controle postural.

O tempo de sono total durante os dias de semana foi quase uma hora a menos quando comparado ao tempo total de sono durante os fins de semana. No entanto, o TST foi em cerca de 07:40 horas durante a semana, e mais de 08 horas nos finais de semana. Segundo as recomendações da OMS e de estudos prévios, estes valores não poderiam ser considerados restrição de sono (ALVAREZ; AYAS, 2004). No entanto, em uma das

questões do questionário de cronotipos de Horne e Otsberg é perguntado quanto tempo de sono seria o ideal em sua rotina, e este valor é de 09:45 horas. Este valor é de pelo menos duas horas a mais durante a semana e de uma hora nos finais de semana quando comparado com os valores obtidos pela análise de actimetria.

Van Dongen e colaboradores (VAN DONGEN et al., 2003) afirmam que a restrição de sono contínua por 14 dias resulta em déficits no desempenho cognitivo, avaliado pelo PVT, equivalente a até duas noites de privação de sono total. Desta forma, mesmo a restrição moderada de sono pode afetar as funções cognitivas (CHELLAPPA; MORRIS; SCHEER, 2018), e também é possível utilizar resultados da privação de sono aguda para a comparação com nossos resultados.

Estes resultados demonstram que os indivíduos deste experimento sofrem da redução das horas de sono durante os dias de semana, e que não necessariamente é restaurado durante os dias livres. No entanto, ao avaliar os resultados obtidos pela escala de sonolência de Epworth (ESS), é possível observar escores muito similares antes da realização dos testes de CP. Aparentemente essa restrição de sono crônica parece ser sutil uma vez que os voluntários não expressam uma maior sonolência nos testes realizados após os dias de maior acúmulo de débito de sono.

Apesar disso, as sutis diferenças de sono entre dias úteis e fins de semana parecem afetar o desempenho postural. De forma geral é possível observar um melhor desempenho nos testes realizados na segunda-feira, após períodos de sono sem restrição por obrigações sociais, quando comparado com os testes realizados na sexta-feira, em que há uma restrição de sono acumulada ao longo da semana, gerando um maior débito de sono.

Ficar em uma plataforma de força com os olhos fechados e uma espuma sob os pés altera a propriocepção plantar e do tornozelo. Nas tarefas realizadas sem informação visual e com redução da propriocepção plantar e tornozelo (TPE), o controle da postura deve contar com entradas vestibulares e proprioceptivas para estimar a posição do corpo em relação ao ambiente (NASHNER; MCCOLLUM, 1985; WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK, 2002) As perturbações sensoriais requerem demandas de processamento mais elevadas em certas áreas corticais e cerebelares. No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre segunda e sexta-feira, independente da condição visual (olhos abertos ou fechados).

Em um estudo avaliando efeitos da privação aguda de sono, foi observado uma perda de desempenho no CP na plataforma com redução proprioceptiva (espuma sobre a plataforma) apenas após 28 horas de privação aguda (CHENG et al., 2018). Em um outro

estudo, as diferenças foram observadas na mesma condição com um pouco menos tempo, após 21 horas acordado (PHAM et al., 2014). Em trabalhos de privação de sono aguda, só foram observados distúrbios no CP associados com um baixo tempo de privação de sono (12 horas) quando a privação de sono estava atrelada ao trabalho de turno (NARCISO et al., 2016), ou seja, além de aspectos de privação de sono, também estão associadas a fadiga laboral do tempo de trabalho. Desta forma, podemos especular que a restrição de sono causada pelo fenômeno do *jetlag* social não tenham o mesmo efeito que uma privação de sono aguda de 24 horas nos processos que controlam o CP com a ausência da informação visual e proprioceptiva plantar.

No entanto, em um dos poucos estudos que avaliaram efeitos da restrição crônica de sono no controle postural, Siu e colaboradores (SIU et al., 2015), utilizando o tempo de sono identificado por actimetria, constatou que quando há uma diminuição na duração do sono, parâmetros do COP dos indivíduos se tornam menos estáveis. Os indivíduos apresentaram uma maior oscilação no CP na tarefa com os olhos abertos, mesmo dormindo pelo menos cinco horas por dia.

Em um outro estudo, avaliando indivíduos que dormem menos devido a uma carga horária de trabalho alta (KARITA et al., 2006), encontraram resultados similares. É observado uma diminuição do CP, caracterizado por um aumento da área de oscilação e da velocidade do COP em indivíduos com uma menor duração de sono durante a rotina de trabalho. Ou seja, aparentemente, os efeitos deletérios da situação de *jetlag* social causado pelo cotidiano não tem efeitos tão significativos do que quando há uma restrição de sono mais significativa. Nos trabalhos supracitados, a duração do sono nos dias de trabalho é inferior a 5 horas, enquanto no nosso estudo, a duração média nos dias de trabalho é cerca de 7 horas e meia.

Apesar de não ser observadas diferenças significativas nos testes com restrição sensorial proprioceptiva, quando os testes demandavam maior demanda cognitiva (TPD), foi observado a maior diferença no desempenho do controle postural. Nos testes realizados na segunda, após uma recuperação de sono no final de semana, o desempenho postural é significativamente maior do que os realizados na sexta-feira, dia com o maior débito de sono acumulado na semana.

Estudos dos últimos anos utilizam como referência que o número mínimo de horas de sono em adultos jovens seja de sete horas ininterruptas (HIRSHKOWITZ et al., 2015). Esta duração parece estar subestimada para o nosso grupo amostral quando se trata em prevenir diminuição de desempenho no controle postural. Isso explicaria por que jovens

adultos saudáveis, com uma pequena restrição de sono crônica que passa despercebida na avaliação por questionários de sonolência, têm menor desempenho no controle postural. Desta forma, com base em nossos resultados, podemos afirmar que parâmetros do controle postural podem ser usados como uma medida objetiva complementar da restrição do sono.

Esses resultados são consistentes com a hipótese de que a restrição do sono afeta o córtex pré-frontal, responsável principalmente por aspectos de maior demanda cognitiva. As conexões do córtex pré-frontal com as regiões do cerebelo, são responsáveis pelo controle em tempo real da execução do movimento. Diferentes áreas do cerebelo são muito importantes para ajustes da postura, assim como em movimentos complexos associados com estímulos auditivos e visuais, tais como alcance a um determinado ponto, juntamente com um estímulo visual (FAW, 2003; FABRI et al., 2006; AGUIAR; BARELA, 2015). Esse circuito desempenha um papel crucial na realização de movimentos voluntários, especialmente quando esses movimentos exigem precisão e habilidades motoras finas, bem como em sequências de movimentos envolvendo muitas articulações, sendo muito desses processos e áreas ativadas também relacionados ao controle da marcha (TAKAKUSAKI, 2017).

Desta forma, é possível esperar que, assim como é observado perda de desempenho no controle postural sob efeitos de restrição do sono, devemos encontrar perda de desempenho no controle do tempo real da marcha em indivíduos com privação de sono.

6.3. Privação do sono afeta o controle da marcha.

O objetivo deste experimento foi investigar como indivíduos jovens saudáveis sob diferentes condições de restrição do sono, que vão desde a privação aguda do sono ao sono do cotidiano, se adaptam às perturbações subliminares no ritmo do metrônomo durante a marcha. Comparamos grupos de indivíduos com privação de sono aguda de uma noite, indivíduos que estão cronicamente com sono restrito, em que não há a recuperação parcial do débito de sono nos finais da semana e um grupo controle em que é observada uma restauração na duração do sono nos finais de semana. Espera-se quanto maior a privação do sono, efeitos mais deletérios nos ajustes do controle da marcha serão observados.

Em um estudo anterior realizado em nosso laboratório, Forner-Cordero e colaboradores (FORNER-CORDERO et al., 2019), relataram que indivíduos têm a capacidade de seguir alterações subliminares do metrônomo em uma sugestão auditiva rítmica. Os mesmos autores sugerem que as primeiras adaptações da marcha orientada pelo metrônomo podem ser visualizadas a partir da análise do comprimento do passo.

Mudanças no comprimento do passo estão relacionadas a mudanças na velocidade de deslocamento (OWINGS; GRABINER, 2004). No entanto, os testes foram realizados em velocidade constante, sendo que a única mudança oferecida é a frequência do bipe oferecido pelo metrônomo, ou seja, qualquer mudança observada estaria relacionada às mudanças rítmicas do metrônomo. Foi observado que o comprimento do passo está relacionado com o período do metrônomo. Na medida em que o metrônomo fica mais rápido, há uma diminuição no comprimento do passo. Todos os grupos têm um comportamento semelhante, não sendo observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, apenas entre as fases da caminhada. Desta forma podemos assumir que, de modo geral, todos os indivíduos têm adaptações no padrão da marcha em decorrência da pista temporal fornecida pelo metrônomo.

Ao observar a frequência de atraso e adianto do passo em relação ao metrônomo, é possível observar que nas fases iniciais isócronas (Fases A, B e G) a distribuição de atrasos e adianto de passo em relação ao metrônomo é bem balanceada no grupo controle. Com a diminuição do período do metrônomo, a frequência de números de passos antes do bipe aumentam conforme a fase, de forma similar com o que é observado com o comprimento do passo, que aumenta ao longo das fases com metrônomo de menor frequência. Com o aumento da frequência do metrônomo, há uma maior ocorrência de atrasos do número dos passos, de forma similar que é observada a diminuição da duração do comprimento do passo.

O mesmo fenômeno é observado para a fase relativa, o aumento do ângulo de fase entre o bipe e o metrônomo parece estar associado com as mudanças do período do metrônomo. Identificar os ângulos de fase entre o momento do bipe e o instante em que o pé toca ao solo gera uma informação sobre acurácia, ou seja, o quão próximo os eventos do bipe e do momento do passo acontecem. Uma fase relativa de zero seria a situação em que os dois eventos são coincidentes.

Apesar de não haver diferença entre os grupos nas fases relativas ao longo do teste, é observado um maior número de eventos de acertos de passo com o metrônomo, ou seja, eventos nos quais o passo e o bipe do metrônomo se dá no mesmo momento. O intervalo

para ser considerado que o bipe e o passo ocorrem no mesmo momento é limitado pela frequência de aquisição das curvas, mas ainda assim é muito pequeno (8 milissegundos). Se pensar que o acerto do passo com o metrônomo se daria ao acaso em todos os grupos, não seria possível observar diferenças significativas entre os grupos. Porém, é possível observar que nas fases de metrônomo isócronas iniciais (A,B e G), o grupo de privação aguda tem um menor número de acertos de passo em total sincronia com o metrônomo. Adicionalmente, na fase A, em que a duração é maior por se manter estável durante todo o teste, é possível diferenciar também o grupo de restrição crônica dos demais grupos, sendo que este grupo tem um desempenho melhor que o de privação aguda e pior que o do grupo controle.

Diminuição na eficiência e qualidade do sono também são aspectos que podem caracterizar uma restrição de sono crônica (ZHAO; ZHAO; VEASEY, 2017). Uma das causas de uma baixa eficiência e qualidade do sono são eventos de despertares durante a etapa de sono, o que fragmenta as ciclos do sono, diminuindo a função restauradora musculoesquelética e cognitiva (MARTIN et al., 1997; JONES; HARRISON, 2001).

Assim como observado nos testes de controle postural, foi possível observar que todos os grupos estavam sob influência do *jetlag* social. Há um deslocamento da meia fase do sono nos dias de descanso de mais de uma hora. Estudos recentes utilizaram o limiar de uma hora para caracterizar indivíduos que estão submetidos ao fenômeno de *jetlag* social (MOTA et al., 2017; NECHIFOR et al., 2020). No entanto a duração da fase do sono, ou seja, se há ou não uma compensação de sono durante os finais de semana, não é comumente observada em estudos que avaliam o *jetlag* social.

O grupo amostral dos testes de marcha é composto por indivíduos que moram na zona metropolitana cidade de São Paulo/SP, a maior cidade do Brasil. Alguns estudos afirmam que o *jetlag* social é um fenômeno muito comum entre jovens estudantes (CHANDRAKAR, 2017), assim como observado com maior prevalência em ambientes mais urbanizados (CARVALHO; HIDALGO; LEVANDOVSKI, 2014). Em um estudo recente com adolescentes em idade escolar, foi observado que a incidência de *jetlag* social está relacionada com necessidade de acordar mais cedo para a realização das tarefas escolares e, conseqüentemente, com uma menor duração de sono (CARVALHO-MENDES et al., 2020).

A restrição na duração do sono afeta negativamente a duração do sono não paradoxal (Sono REM), no qual estudos demonstram que distúrbios de sono REM pode levar a diminuição da atenção e, conseqüentemente, em um pior desempenho em tarefas

cognitivas (DUJARDIN; GUERRIEN; LECONTE, 1990; MCCOY; STRECKER, 2011). No grupo com restrição de sono crônica, em que não há uma recuperação da duração do sono nos fins de semana, também é possível observar uma pior qualidade de sono acessado pelo questionário de qualidade de sono de Pittsburgh, ou seja, este grupo está cronicamente sob influência da restrição de sono. Desta forma, podemos assumir que essa diferença entre os grupos em relação a frequência de acertos de sincronização pode ser devida as diferentes situações de restrição e privação de sono observada nos indivíduos.

Ao analisar a diferenças dos períodos do passo e do metrônomo se tem a informação sobre o quão constante é o ritmo da caminhada em relação ao metrônomo, ou seja, mesmo que não coincidente com o bipe do metrônomo, se o período do passo ter valores similares ao período do metrônomo demonstra que o metrônomo está sincronizado de uma forma estável. Valores da diferença entre os períodos próximas a zero demonstram que o passo tem um ritmo muito similar ao que é proporcionado pelo metrônomo. Nos grupos controle (GC) e grupo com restrição de sono crônica (GRC) é observado que estes valores permanecem muito próximos de zero, enquanto no grupo de privação aguda este parâmetro oscila durante o teste. Em outras palavras, é observada a perda da estabilidade da sincronização com o metrônomo.

Tais resultados podem ser explicados com base nos dois processos de correção da marcha que propusemos no artigo publicado por nosso grupo (FORNER-CORDERO et al., 2019). Uma maior acurácia durante o teste pode estar relacionada aos processo de controle da marcha com base em uma circuitaria de retroalimentação de informações sensoriais, em que essa o acoplamento rápido da marcha ao bipe do metrônomo é o resultado das entradas de informação sensorial que devem atuar rapidamente na correção entre o contato do pé ao solo (entrada sensorial periférica), com entradas sensoriais supra-espinhais que, neste caso, é caracterizado pelo bipe no metrônomo. Apesar de não observarmos diferenças significativas na fase relativa entre os grupos, o maior número de acertos de sincronização pode evidenciar que este processo, no qual quando as correções rápidas do movimento em relação aos estímulos são realizadas de forma eficaz, há uma maior acurácia e, desta forma, um maior número de acertos de sincronização.

Em relação a observação da maior estabilidade do período do passo ao longo do teste, existe um segundo processo envolvido. Este sistema é um processo de adaptação lenta com base em um oscilador supra espinhal que, a partir das informações sensoriais, têm a capacidade de prever o contato do pé e da atividade do tônus muscular de forma a produzir este contato de forma sincronizada ao estímulo. Este processo deve compensar

os atrasos neurais dos receptores cutâneos do pé em relação aos sinais auditivos que estão diretamente conectado ao sistema nervoso central (FORNER-CORDERO et al., 2019).

Com um processo de adaptação mais lento, mas ainda assim com a predição dos estímulos e dos ajustes motores a nível supra espinhal, podemos imaginar que os ajustes em que este processo está sendo executado de maneira ótima, é observada uma maior estabilidade na execução das tarefas ao longo do tempo.

O processo de sincronização sensório-motora em tarefas de *finger tapping* e marcha orientada pelo metrônomo compartilham características e processos neurocomportamentais similares (FORNER-CORDERO et al., 2019). Deste modo, é possível que uma tarefa comportamental controlada por pistas auditivas rítmicas é controlada por circuito neurais similares, ou até mesmo iguais, em ambas as tarefas. Sabe-se que diversas áreas do cérebro são ativadas para gerar uma sincronização ótima para as correções de períodos, necessitando de mais controle de áreas supra-espinhais do que na correção de fases relativas (THAUT; MILLER; SCHAUER, 1998).

Por ter demandas de áreas supra-espinhais e, possivelmente de conexões com áreas responsáveis com o controle real em movimento que são afetadas diretamente pela privação de sono (DURMER; DINGES, 2005; TAKAKUSAKI, 2017), é possível imaginar que este processo deve estar comprometido em indivíduos que têm uma maior privação de sono. Assim, podemos assumir que os sujeitos com privação aguda de sono têm uma maior predominância da utilização do processo baseado no controle da marcha baseado por correção de erros do que da antecipação baseada por um oscilador interno de nível supra espinhal, o que leva a diminuir a estabilidade do ritmo da marcha.

Adicionalmente, os indivíduos submetidos a privação aguda de sono parecem ter problemas para manter a sincronização da marcha com o metrônomo durante o percorrer do teste. Foi constatado eventos de erros de sincronização, em que os indivíduos perdiam completamente o acoplamento com o metrônomo, adiantando ou atrasando o bipe. Esse atraso ou antecipação contínua gera um avanço ou atraso de fase negativo ou positivo, que podem acumular ao longo do teste até se acoplar novamente com um bipe sonoro anterior ou posterior ao esperado, que é caracterizado pelos picos observados nos gráficos de sincronização com o metrônomo. Em alguns sujeitos, esses erros são tão evidentes que sugerem que os indivíduos aparentam nunca estarem sincronizados com o metrônomo.

Em alguns sujeitos com privação aguda de sono há problemas de sincronização com o metrônomo durante todo o teste, de forma a evidenciar que os sujeitos não tem um acoplamento estável ao estímulo do metrônomo. As fases relativas em função do tempo

demonstram períodos transientes de não acoplamento com o metrônomo alternados com fases sincronizadas. Desta forma, com a perda da estabilidade e a observação de erros de sincronização ao longo do teste, é possível afirmar que o desempenho da marcha orientada pelo metrônomo parece estar comprometido. A perda de desempenho em tarefas é comumente observada em indivíduos com privação do sono (DURMER; DINGES, 2005; KILLGORE, 2010) sendo que a incapacidade de sincronizar com o ritmo pode estar relacionada à falta de atenção causada pela privação do sono.

Pouco se sabe sobre como a privação do sono afeta no padrão da marcha. Em um estudo analisando idosos, foi observado que indivíduos com menor qualidade do sono têm a tendência em apresentar pior desempenho em testes sob condição de dupla tarefa (AGMON; SHOCHAT; KIZONY, 2016). Eles encontraram uma associação entre maior variabilidade e menor velocidade na marcha com menores valores de eficiência do sono identificados por actimetria, ou seja, indivíduos com pior qualidade de sono têm um comprometimento no desempenho da marcha, quando realizado com um teste cognitivo.

Em outro estudo, Howell e colaboradores (HOWELL et al., 2018), observaram que em indivíduos que têm uma menor duração de sono, são encontrados problemas para realizar uma marcha em tandem, uma marcha do realizada com o calcanhar o mais próximo possível do dedão do pé oposto sobre uma linha desenhada no chão. Esses distúrbios foram observados em indivíduos que realizavam apenas a marcha em uma condição de dupla tarefa. Os autores afirmam que a falta de atenção e a deterioração das funções executivas que regulam a marcha em decorrência aos distúrbios de sono podem ser causas da perda de desempenho nos sujeitos.

Esta associação entre sono e desempenho é uma das mais abordadas em trabalhos que analisam a interação entre habilidades cognitivas, desempenho em testes de dupla tarefa e sono (LIM; DINGES, 2008; MCCOY; STRECKER, 2011; AGMON; SHOCHAT; KIZONY, 2016; BAHUREKSA et al., 2017; HOWELL et al., 2018).

A perda ou falta da estabilidade da sincronização com o metrônomo no grupo de privação de sono aguda também pode ser devido à diminuição do estado de alerta ou à ocorrência de micro episódios de sono (DURMER; DINGES, 2005), que não são percebidos pelo sujeito, por poder ter a duração de fração de segundo. A prevalência de micro episódios de sono pode ser uma possibilidade real, uma vez que os valores de sonolência diurna observados antes do teste pelo questionário ESS no de privação aguda de sono é muito maior que a observada nos outros grupos (pontuação média 20 de 24), sendo classificados como indivíduos com sonolência excessivamente severa. O aumento

da sonolência afeta diretamente funções cognitivas (JONES; HARRISON, 2001) o que, além de explicar os eventos de erros de sincronização, também podem explicar o aumento da variabilidade e da perda da estabilidade da fase relativa do período do passo, por comprometimentos de funções cognitivas e de controle de movimento em nível cerebral.

O aumento da variabilidade nas funções cognitivas cerebrais podem gerar lapsos atencionais, que são caracterizados por breves instantes sem resposta comportamental (GOEL et al., 2009). De maneira geral, esses lapsos são muito breves e não é possível detectar comportamentalmente sem um teste específico. O Teste de Vigilância Psicomotora (PVT) consegue detectar com sucesso esses lapsos atencionais baseado em atrasos do tempo de reação (LIM; DINGES, 2008). No entanto, de forma surpreendente, foi possível detectar erros de sincronização com o metrônomo, que, de certa forma, se assemelham aos erros no teste de reação do PVT. Desta forma, talvez seja possível assumir a detecção destes lapsos em nossos testes, o que pode vir a se tornar em uma ferramenta útil para detecção de sonolência e diminuição do estado de alerta.

Diversos estudos demonstram como diversos aspectos da cognição são constantemente afetados por distúrbios de sono (KURIYAMA; STICKGOLD; WALKER, 2004; DURMER; DINGES, 2005; KILLGORE, 2010; MCCOY; STRECKER, 2011). Os problemas mais relevantes são provavelmente relacionados a atenção sustentada e estado de alerta (DURMER; DINGES, 2005). O déficit de atenção e de alerta causado pela privação de sono diminui o desempenho e aumenta a variabilidade em tarefas motora. Adicionalmente, falta de sono está associada com tempos de reação maiores em testes de tempo de reação simples (KURIYAMA; STICKGOLD; WALKER, 2004) e a sonolência diurna excessiva é associada a problemas na concentração e memória de curto prazo (DORAN; VAN DONGEN; DINGES, 2001).

O teste PVT é amplamente utilizado para avaliar a privação do sono. É sensível aos efeitos da perda de sono e fornece informações sobre velocidade de reação e lapsos de atenção. Geralmente, os sujeitos com privação de sono apresentam tempos de reação maiores, aumento de erros de omissão e aumento de erros relacionados ao tempo de execução na tarefa (LIM; DINGES, 2008; THOMANN et al., 2014). O declínio do desempenho ao longo da duração de uma tarefa de atenção vigilante é caracterizado pelo aumento da variabilidade da resposta, o que também foi observado em nosso teste.

Killgore e colaboradores (KILLGORE, 2010) afirmam que a diminuição no desempenho do PVT pode ser causada pela problemas de ativação dos córtices parietais e pré-frontais, áreas essenciais no controle em tempo real da marcha (TAKAKUSAKI,

2017), além de mencionar uma diminuição da percepção auditiva. Babkoff e colaboradores afirmam que a privação de sono afeta a capacidade de identificar a ordem dos estímulos auditivos intimamente emparelhados, com uma taxa de queda de 28% na resolução temporal auditiva após uma noite de privação de sono (BABKOFF et al., 2005), sugerindo que esse comprometimento é devido a privação de sono afetando negativamente o córtex pré-frontal. Assim, é possível sugerir que a diminuição do processamento auditivo pode ser uma das causas dos eventos de falha de sincronização com o metrônomo observado no grupo de privação aguda.

A queda de desempenho em teste de reação é resultado da diminuição na atividade de áreas do cérebro que regulam a atenção voluntária, percepção, memória de trabalho e outras funções com alta demanda cognitiva, como o tálamo, cerebelo e córtex pré-frontal (KURIYAMA; STICKGOLD; WALKER, 2004; DURMER; DINGES, 2005; MCCOY; STRECKER, 2011), que são as áreas mais sensíveis a distúrbios de sono. Diminuição de desempenho e aumento da variação em performances motoras, são atribuídos com a incapacidade dos participantes de manter atenção e alerta (DORAN; VAN DONGEN; DINGES, 2001). A falta de atenção em distúrbios de sono são associadas com uma grande diminuição na taxa metabólica no tálamo, gânglios basais e cerebelo (WU et al., 1991), que são áreas muito importantes para o ajuste em tempo real da marcha (TAKAKUSAKI, 2017).

Em relação a áreas do cérebro, o córtex pré-frontal tem conexões com o cerebelo que participam das decisões em tempo real e controle do movimento (FABBRI et al., 2006; AGUIAR; BARELA, 2015). Adicionalmente, diferentes áreas do cerebelo são muito importantes para a locomoção e o ajuste postural assim como para movimentos complexos associado com estímulos auditivos e visuais, como o alcance a um determinado ponto orientado por um estímulo visual (FAW, 2003). Problemas de sono resultam em uma diminuição cognitiva, prejuízos na memória, diminuição da vigília e da atenção sustentada, o que acarreta prejuízos de desempenho em tarefas. No entanto, não apenas áreas ligadas a atenção e a processamentos que exigem alta demanda cognitiva sofrem com a privação do sono. Aparentemente áreas relacionadas a transmissão de informações para o cérebro também é afetada.

Uma das estruturas cerebrais responsáveis na comunicação entre o córtex pré-frontal e o cerebelo é o tálamo. A principal função desta área é a de retransmissão de sinais motores e sensoriais para o córtex cerebral, mas também é envolvido no processamento com um complexo sistema de circuitaria córtex-tálamo-córtex de modo

a ter um papel fundamental no estado de excitabilidade do tálamo, o que permita a modulação da formação transmitida para o córtex (LOPEZ; BLANKE, 2011). Desta forma, uma baixa, excitabilidade do tálamo pode indicar uma diminuição na transmissão da informação para outras áreas do cérebro.

Estudos que analisam metabolismo funcional e neurofisiologia cérebro demonstram que os sistemas neurais envolvidos em funções executivas são afetados pela diminuição das horas de sono, mesmo que parcial (DURMER; DINGES, 2005) O *jetlag* social é uma das condições que causam a restrição do sono e é muito comum na rotina diária dos indivíduos (MALONE et al., 2016) a privação de sono aguda, apesar de ser rotina apenas em grupos específicos, também tem uma grande prevalência na população de grandes centros urbanos. Os problemas do sono afetam a função cognitiva e podem deteriorar o tempo de resposta, o processo de aquisição de tarefas e o desempenho da execução da tarefa em um curto período de tempo, além de aumentar o esforço na execução das tarefas (DURMER; DINGES, 2005; MCCOY; STRECKER, 2011). Assim, é de se esperar que a restrição crônica e aguda de sono afetaria a sincronização da marcha e o controle postural, conforme foi observado nos resultados.

Desta forma, podemos verificar que é possível encontrar mudanças no padrão da marcha orientada pelo metrônomo tanto para os sujeitos com restrição de sono crônica, com a diminuição dos acertos do passo com o metrônomo quando comparado ao grupo controle, bem como para o grupo de privação aguda, em que foi possível observar, além da diminuição da estabilidade do período da marcha orientada pelo metrônomo, erros de sincronização e um menor número de acertos do passo com o metrônomo. Com base nesses resultados, em testes futuros é possível pensar em desenvolver testes específicos para detectar alterações da marcha em cada um dos grupos.

7. CONCLUSÕES

7.1 Conclusões gerais

A partir dos resultados e discussões apresentadas, de uma forma geral, este trabalho contribuiu no campo de pesquisas multidisciplinares na fronteira do conhecimento entre sono, biomecânica e controle motor, com resultados de relevâncias metodológicas e científicas, que inclusive já foram publicados e citados por outros autores.

Na avaliação do sono, foi mostrado como o parâmetro L5, muito utilizado como indicador da fase de menor atividade motora dos indivíduos, pode ser utilizado como um critério de identificação de diferenças no padrão de sono de grupos em diferentes condições ambientais decorrentes da vida em contexto urbano ou rural (UMEMURA et al., 2017b). Adicionalmente, este mesmo parâmetro pode ser utilizado como um possível indicador de qualidade de sono (FORNER-CORDERO et al., 2018b), uma vez que são observadas associações com questionários de sono.

Em todos os experimentos desenvolvidos, não foi possível obter grupos sem nenhuma alteração de sono ou ritmo, o que torna imperativa uma maior preocupação no desenvolvimento de estudos avaliando as consequências desses fenômenos associados à execução de tarefas cotidianas e na qualidade de vida dos indivíduos.

Foram observadas que alterações de sono, não necessariamente atreladas à uma percepção de aumento de sonolência nos indivíduos, tem influência no controle motor da postura e da caminhada.

Alterações no controle postural e da marcha possivelmente estão relacionadas a alterações em áreas do cérebro relacionadas ao controle em tempo real do movimento, cognição e atenção, que tem papel essencial no controle da marcha e também são afetadas pela restrição crônica e privação aguda de sono.

Nos testes de marcha orientada pelo metrônomo, foi proposta a possibilidade que o teste é capaz de detectar lapsos atencionais que resultam na incapacidade de sincronização com o metrônomo, realizando um paralelo com a proposta no teste de vigilância psicomotora.

7.2 Conclusões a partir das hipóteses

A partir das hipóteses apresentadas preliminarmente, é possível concluir que:

Hipótese 1. “A rotina diária em cidades cosmopolitas, como São Paulo, desencadeia mudanças no padrão do sono quando comparado com uma cidade de contexto mais rural (Barbacena/MG)”. Foi constatado que os indivíduos que vivem na cidade de São Paulo apresentam uma menor qualidade e duração de sono acessada objetivamente pela actimetria, independente da percepção individual subjetiva de sonolência ou qualidade de sono. As causas podem estar relacionadas ao maior tempo de deslocamento para as atividades, assim como pela diminuição da interação com o ciclo claro escuro natural.

Hipótese 2. “Parâmetros comumente utilizados para identificação de fases e propriedades na ritmicidade circadiana estão relacionados a qualidade de sono autodeclarada dos indivíduos”. O parâmetro L5, que indica as cinco horas consecutivas de menor movimentação do dia, está associado com uma pior qualidade de sono avaliada por questionários.

Hipótese 3. “Alterações de sono decorrente do *jetlag* social geram alterações no controle postural”. É observado uma diminuição no desempenho nas tarefas de controle postural em indivíduos com restrição de sono crônica decorrente do *jetlag* social. Após a recuperação do débito de sono nos finais de semana, os indivíduos apresentam um melhor desempenho nos testes posturais.

Hipótese 4. “Tarefas de controle postural com tarefas mais desafiadoras evidenciam de forma mais proeminente os efeitos do *jetlag* social no equilíbrio”. As diferenças de desempenho são observadas de forma consistente em tarefas que exigem uma maior demanda cognitiva no controle da postura. Em tarefas que exigem menor exigência, essas diferenças não são observadas.

Hipótese 5. “Diferentes rotinas de duração de sono afetam de forma diferente o controle da marcha orientada pelo metrônomo.” É possível observar alterações no controle da marcha orientada com metrônomo a partir da restrição ou privação do sono.

Este resultado abre caminho para novos paradigmas experimentais para o estudo da relação entre o sono e o controle da marcha.

Hipótese 6 – “Quanto mais intensa for a restrição de sono, mais severas são as consequências na capacidade de sincronização sensório-motora da marcha orientada pelo metrônomo”. Em indivíduos sob privação de sono aguda, há uma diminuição da estabilidade do período da marcha orientada pelo metrônomo, além de serem observados erros de sincronização total. Ainda foi possível detectar diferenças entre as três rotinas de sono com base na frequência dos números de passos coincidentes com o estímulo do metrônomo. Este resultado sugere que seja possível a utilização da tarefa da marcha de forma similar aos testes de vigilância psicomotora (PVT).

7.3 Contribuições e aplicações do conhecimento

O desenvolvimento desta pesquisa possibilitou o desmembramento de diversos projetos e experimentos. Uma das contribuições, mesmo que de forma indireta, foi a validação do uso da metodologia de análise de actimetria para avaliar qualidade de sono e níveis de atividade física em lesionados medulares (ALBU; UMEMURA; FORNER-CORDERO, 2019). Este trabalho foi publicado em parceria internacional com o *Instit Guttman*, situado em Barcelona/Espanha.

Em contribuição direta, foram publicados estudos envolvendo aprendizagem motora de membros superiores. Em um dos trabalhos publicados, mostramos como que indivíduos com melhores parâmetros de sono apresentaram uma curva de aprendizagem mais eficaz do que indivíduos com um sono de pior qualidade (UMEMURA et al., 2017a). Recentemente, foi aceito para publicação um artigo que associa menor duração de sono autodeclarada com pior desempenho no tempo de reação em uma tarefa bi manual utilizando um sistema robótico similar a um guidão de bicicleta (CARDOSO et al., 2020).

Foi publicado um artigo mostrando como que um simples dispositivo de vídeo-game (Wii Balance Board- Nintendo, Japão) é capaz de identificar com eficácia perturbações no controle postural decorrentes da privação de sono (UMEMURA et al., 2018). Adicionalmente foi proposta a padronização de parâmetros de controle postural que devem ser analisados por este equipamento. Este trabalho foi avaliado como o melhor trabalho da América Latina e escolhido como finalista na competição de artigos de estudantes da *IEEE Engineering Medicine and Biology Conference (EMBC 2019)* em

Berlim/Alemanha. Estas inovações tecnológicas podem vir a permitir uma maior aplicação das ferramentas e métodos tanto no meio acadêmico quanto no meio profissional, em acompanhamentos clínicos ou laboral e intervenções terapêuticas

A divulgação científica também foi uma das metas propostas indiretamente na execução deste projeto. Em matéria concedida a rede Bandeirantes de televisão foi divulgada a execução deste projeto de pesquisa (BAND, 2018). Na rede Record de televisão, uma matéria sobre como a falta de sono pode afetar o controle dos movimentos foi publicada (REDE RECORD, 2018), citando o trabalho que foi publicado a partir dos resultados obtidos da análise do controle postural sob a influência do *jetlag* social (UMEMURA et al., 2018).

7.4 Limitações do estudo

A falta de um grupo que se enquadraria como sem perturbações de sono ou de ritmo impossibilita de saber quais são as consequências de alterações mais sutis na rotina diária dos indivíduos no desempenho motor nas tarefas de controle da postura e da marcha

No estudo de controle postural, o uso da plataforma de força Biodex limita a comparação dos resultados obtidos com outros estudos, uma vez que os parâmetros obtidos são exclusivos e resultantes do software proprietário. Para sanar este problema em testes futuros, foram adquiridas plataformas de forças que permitem a utilização dos parâmetros comumente utilizados nos artigos científicos

No estudo da marcha, a frequência de aquisição das câmeras infravermelhas gera limitações de amostragem. A janela mínima de acurácia é de 8,3 milissegundos, de modo a atrapalhar a identificação da sincronização perfeita, o que pode vir a subestimar os resultados apresentados.

7.5 Trabalhos futuros

A proposta inicial deste estudo foi motivada pela observação rotineira de comprometimento no desempenho em testes motores realizados em adultos jovens saudáveis no laboratório dentro do contexto universitário. Desta forma, é clara a necessidade de acompanhamento e avaliação de sono e ritmo destas populações. É necessário promover a implementação de intervenções educativas e de políticas públicas

que venha a diminuir a frequência destes distúrbios, que geram consequências negativas para a saúde e qualidade de vida.

Com base nos resultados diretos e indiretos, é possível propor em testes futuros desenhos experimentais e intervenções que possibilitam a detecção de sonolência e distúrbios de sono de forma imediata através da utilização de testes motores. Tais estudos podem vir a colaborar com diversos campos de atuação profissional, desde à intervenção terapêuticas quanto a gestões laborais e de gerenciamento de indivíduos expostos à mudanças na rotina de sono.

8. REFERÊNCIAS

AGMON, M.; SHOCHAT, T.; KIZONY, R. Sleep quality is associated with walking under dual-task, but not single-task performance. **Gait and Posture**, v. 49, p. 127–131, 1 set. 2016.

AGUIAR, S. A.; BARELA, J. A. Sleep deprivation affects sensorimotor coupling in postural control of young adults. **Neuroscience Letters**, v. 574, p. 47–52, 2014.

AGUIAR, S. A.; BARELA, J. A. Adaptation of sensorimotor coupling in postural control is impaired by sleep deprivation. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. e0122340, mar. 2015.

ALBU, S.; UMEMURA, G.; FORNER-CORDERO, A. Actigraphy-based evaluation of sleep quality and physical activity in individuals with spinal cord injury. **Spinal cord series and cases**, v. 5, p. 7, 2019. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30675391>>. Acesso em: 22 out. 2019.

ALIBIGLOU, L.; MACKINNON, C. D. The early release of planned movement by acoustic startle can be delayed by transcranial magnetic stimulation over the motor cortex. **J Physiol**, v. 590, n. 4, p. 919–936, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22124142>>.

ALVAREZ, G. G.; AYAS, N. T. The impact of daily sleep duration on health: a review of the literature. **Prog Cardiovasc Nurs**, v. 19, n. 2, p. 56–59, 2004. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15133379>>.

ASCHOFF, J. Circadian Rhythms in Man. **Science**, v. 148, p. 1427–1432, 1965. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14294139>>.

ASHWORTH-BEAUMONT, J.; NOWICKY, A. A new method for tracking of motor skill learning through practical application of Fitts' law. **J Mot Behav**, v. 45, n. 3, p. 181–193, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23581699>>.

AVNI, N. et al. Brief posturographic test as an indicator of fatigue. **Psychiatry and**, 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1440-1819.2006.01511.x/full>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

BABKOFF, H. et al. Effect of the diurnal rhythm and 24 h of sleep deprivation on dichotic temporal order judgment. **Journal of Sleep Research**, v. 14, n. 1, p. 7–15, mar. 2005. Disponível em: <<http://staticred.net/assets/powersoften.pdf>>. Acesso em: 15 maio. 2020.

BAHUREKSA, L. et al. The Impact of Mild Cognitive Impairment on Gait and Balance: A Systematic Review and Meta-Analysis of Studies Using Instrumented Assessment. **Gerontology**, v. 63, n. 1, p. 67–83, 1 dez. 2017. Disponível em: <<https://www.karger.com/Article/FullText/445831>>. Acesso em: 12 fev. 2020.

BALDAN, A. et al. Effect of light touch on postural sway in individuals with balance problems: a systematic review. **Gait & posture**, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636214000046>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

BAND. **Projeto estuda impacto do sono na coordenação motora - Vídeos - Jornal da Band - Band.com.br**, 2018. Disponível em: <<https://noticias.band.uol.com.br/jornaldaband/videos/16465749/projeto-estuda-impacto-do-sono-na-coordenacao-motora.html>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BENEDITO-SILVA, A. A. et al. A self-assessment questionnaire for the determination of morningness-eveningness types in Brazil. **Prog Clin Biol Res**, v. 341B, p. 89–98, 1990. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2217379>>.

BESNARD, S. et al. The balance of sleep: Role of the vestibular sensory system. **Sleep medicine reviews**, v. 42, p. 220–228, 2018. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30293919>>. Acesso em: 22 out. 2019.

BLIESE, P. D.; WESENSTEN, N. J.; BALKIN, T. J. Age and individual variability in performance during sleep restriction. **Journal of Sleep Research**, v. 15, n. 4, p. 376–385, 1 dez. 2006. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2869.2006.00557.x>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

BONNET, M. H.; ARAND, D. L. We are Chronically Sleep Deprived. **Sleep**, v. 18, n. 10, p. 908–911, 1 dez. 1995. Disponível em: <<https://academic.oup.com/sleep/article-lookup/doi/10.1093/sleep/18.10.908>>. Acesso em: 15 out. 2019.

BORBELY, A. A. A two process model of sleep regulation. **Hum Neurobiol**, v. 1, n. 3, p. 195–204, 1982. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7185792>>.

BOUGARD, C.; DAVENNE, D. Morning/Evening differences in somatosensory inputs for postural control. **Biomed Res Int**, v. 2014, p. 287436, 2014. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25210709>>.

BUYSSE, D. J. et al. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. **Psychiatry Res**, v. 28, n. 2, p. 193–213, 1989. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2748771>>.

BUYSSE, D. J. et al. Relationships between the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), Epworth Sleepiness Scale (ESS), and clinical/polysomnographic measures in a community sample. **J Clin Sleep Med**, v. 4, n. 6, p. 563–571, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19110886>>.

CARDOSO, L. R. L. et al. Sleep Restriction Effects on a Robotic Guided Motor Task. In: 8th International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics , **Anais...2020**.

CARVALHO, F. G.; HIDALGO, M. P.; LEVANDOVSKI, R. Differences in circadian patterns between rural and urban populations: An epidemiological study in countryside. **Chronobiology International**, v. 31, n. 3, p. 442–449, abr. 2014.

CARVALHO-MENDES, R. P. et al. Afternoon School Start Times Are Associated with a Lack of Both Social Jetlag and Sleep Deprivation in Adolescents. **Journal of Biological Rhythms**, p. 74873042092760, 8 jun. 2020. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0748730420927603>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

CENSOR, N. Generalization of perceptual and motor learning: a causal link with memory encoding and consolidation? **Neuroscience**, v. 250, p. 201–207, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23850685>>.

CHANDRAKAR, P. Social jetlag in school students: evidence to suggest that sleep deprivation during work days is common. **Biological Rhythm Research**, v. 48, n. 1, p. 99–112, 2 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09291016.2016.1234026>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

CHANG, C. et al. Recovery of posture stability at different foot placements in patients who underwent minimally invasive total hip arthroplasty: a one-year follow-up study. **BioMed research international**, 2015. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/bmri/aa/463792/>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

CHELLAPPA, S. L.; MORRIS, C. J.; SCHEER, F. A. J. L. Daily circadian misalignment impairs human cognitive performance task-dependently. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 3041, 14 dez. 2018. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/s41598-018-20707-4>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

CHEN, H. Y.; WING, A. M.; PRATT, D. The Synchronisation of Lower Limb Responses with a Variable Metronome: The Effect of Biomechanical Constraints on Timing. **Gait Posture**, v. 23, n. 3, p. 307–314, 2006.

CHENG, S. et al. Differences in sensory reweighting due to loss of visual and proprioceptive cues in postural stability support among sleep-deprived cadet pilots. **Gait & posture**, v. 63, p. 97–103, 2018. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29727778>>. Acesso em: 30 out. 2019.

COKER, C. A. Influence of target location on coincident timing performance. **Percept Mot Skills**, v. 102, n. 1, p. 231–238, 2006. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16671623>>.

COLE, R. J. et al. Automatic sleep/wake identification from wrist activity. **Sleep**, v. 15, n. 5, p. 461–469, 1992. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1455130>>.

CORRIVEAU, H. et al. Intrasection reliability of the “centre of pressure minus centre of mass” variable of postural control in the healthy adult. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 81, n. January, p. 45–48, 2000.

CUTHBERTSON, D. W. et al. Balance as a measurement of fatigue in postcall residents. **Laryngoscope**, v. 125, n. 2, p. 337–341, 2015.

DAAN, S.; BEERSMA, D. G.; BORBELY, A. A. Timing of human sleep: recovery process gated by a circadian pacemaker. **Am J Physiol**, v. 246, n. 2 Pt 2, p. R161-83, 1984. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6696142>>.

DORAN, S. M.; VAN DONGEN, H. P. A.; DINGES, D. F. Sustained attention performance during sleep deprivation: Evidence of state instability. **Archives Italiennes de Biologie**, v. 139, n. 3, p. 253–267, 2001.

DUARTE, M.; FREITAS, S. M. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 14, n. 3, p. 183–192, 2010.

DUJARDIN, K.; GUERRIEN, A.; LECONTE, P. **Sleep, brain activation and cognition** *Physiology and Behavior* Elsevier, , 1 jun. 1990. .

DURMER, J. S.; DINGES, D. F. **Neurocognitive consequences of sleep deprivation** *Seminars in Neurology* Copyright © 2005 by Thieme Medical Publishers, Inc., 333 Seventh Avenue, New York, NY 10001, USA., , 29 mar. 2005. . Disponível em: <<http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-2005-867080>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

DUYSENS, J.; FORNER-CORDERO, A. Walking with perturbations: a guide for biped humans and robots. **Bioinspiration & biomimetics**, v. 13, n. 6, p. 61001, set. 2018.

ERMIS, E. E.; CELIKTAS, C.; PILICER, E. A method for coincidence timing resolution enhancement. **Rev Sci Instrum**, v. 87, n. 5, p. 53504, 2016. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27250420>>.

FABBRI, M. et al. Postural control after a night without sleep. **Neuropsychologia**, v. 44, n. 12, p. 2520–2525, 2006.

FAULKNER, S. M. et al. **Adherence and acceptability of light therapies to improve sleep in intrinsic circadian rhythm sleep disorders and neuropsychiatric illness: a systematic review** *Sleep Health* Elsevier Inc, , 12 mar. 2020. .

FAW, B. Pre-frontal executive committee for perception, working memory, attention, long-term memory, motor control, and thinking: A tutorial review. **Consciousness and Cognition**, v. 12, n. 1, p. 83–139, 2003.

FORNER-CORDERO, A. et al. Comparison of sleep quality assessed by actigraphy and questionnaires to healthy subjects. **Sleep Science**, v. 11, n. 3, p. 141–145, 2018a.

FORNER-CORDERO, A. et al. Comparison of sleep quality assessed by actigraphy and questionnaires to healthy subjects. **Sleep science (Sao Paulo, Brazil)**, v. 11, n. 3, p. 141–145, 2018b. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30455845>>. Acesso em: 17 maio. 2019.

FORNER-CORDERO, A. et al. Effects of supraspinal feedback on human gait: Rhythmic auditory distortion. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 16, n. 1, 23 dez. 2019.

FORSMAN, P. et al. Daytime Changes in Postural Stability and Repeatability of Posturographic Measurements. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 49, n. 6, p. 591–596, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17563601>>. Acesso em: 4 abr. 2018.

FORSMAN, P. M.; HÆGGSTRÖM, E. Circadian amplitude and homeostatic buildup rate in postural control. **Gait and Posture**, v. 38, n. 2, p. 192–197, jun. 2013.

FREY, D. J.; BADIA, P.; WRIGHT, K. P. Inter- and intra-individual variability in performance near the circadian nadir during sleep deprivation. **Journal of Sleep Research**, v. 13, n. 4, p. 305–315, 2004.

FURTADO, F. et al. Chronic low quality sleep impairs postural control in healthy adults. **PLoS ONE**, v. 11, n. 10, p. e0163310, 2016.

GOEL, N. et al. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. **Semin Neurol**, v. 29, n. 4, p. 320–339, 2009. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19742409>>.

GOMEZ, S. et al. Effects of proprioceptive vibratory stimulation on body movement at 24 and 36h of sleep deprivation. **Clinical**, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245707006475>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

GONÇALVES, B. S. B. et al. Nonparametric methods in actigraphy: An update. **Sleep Science**, v. 7, n. 3, p. 158–164, 2014.

GREEN, A. et al. Exposure by males to light emitted from media devices at night is linked with decline of sperm quality and correlated with sleep quality measures. **Chronobiology International**, v. 37, n. 3, p. 414–424, 3 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07420528.2020.1727918>>. Acesso em: 5 jun. 2020.

GRIBBLE, P.; HERTEL, J. Changes in postural control during a 48-hr. sleep deprivation period. **Perceptual and motor skills**, 2004. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2466/pms.99.3.1035-1045>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

GRILLNER, S. The motor infrastructure: From ion channels to neuronal networks. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 4, n. 7, p. 573–586, 2003.

HAEGGSTROM, E.; FORSMAN, P.; WALLIN, A. Evaluating sleepiness using force platform posturography. **IEEE Transactions**, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1658152/>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

HALBERG, F. [Physiologic 24-hour periodicity; general and procedural considerations with reference to the adrenal cycle]. **Int Z Vitaminforsch Beih**, v. 10, p. 225–296, 1959. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14398945>>.

HARY, D.; MOORE, G. P. Synchronizing human movement with an external clock source. **Biological Cybernetics**, v. 56, n. 5–6, p. 305–311, jul. 1987.

HIRSHKOWITZ, M. et al. National sleep foundation's sleep time duration recommendations: Methodology and results summary. **Sleep Health**, v. 1, n. 4, p. 40–43, mar. 2015.

HOPPE, M. et al. The effects of metronome frequency differentially affects gait on a treadmill and overground in people with Parkinson disease. **Gait and Posture**, v. 79, p. 41–45, 1 jun. 2020.

HORAK, F. B.; NASHNER, L. M.; DIENER, H. C. Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. **Experimental brain research**, v. 82, n. 1, p. 167–77, 1990. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2257901>>. Acesso em: 4 abr. 2018.

HORNE, J. A.; OSTBERG, O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. **Int J Chronobiol**, v. 4, n. 2, p. 97–110, 1976. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1027738>>.

HOWELL, D. R. et al. Self-reported sleep duration affects tandem gait, but not steady-state gait outcomes among healthy collegiate athletes. **Gait and Posture**, v. 62, p. 291–296, 1 maio 2018.

HURT, C. P. et al. Rhythmic Auditory Stimulation in Gait Training for Patients with Traumatic Brain Injury. **J Music Ther**, v. 35, n. 4, p. 228–241, 1998.

JACKOWSKA, M.; RONALDSON, A.; BROWN, J. Biological and psychological correlates of self-reported and objective sleep measures. **Journal of psychosomatic**, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022399916300691>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

JOHNS, M. W. A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. **Sleep**, v. 14, n. 6, p. 540–545, 1991. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1798888>>.

JONES, K.; HARRISON, Y. Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. **Sleep Med Rev**, v. 5, n. 6, p. 463–475, 2001. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12531154>>.

JUDA, M.; VETTER, C.; ROENNEBERG, T. Chronotype modulates sleep duration, sleep quality, and social jet lag in shift-workers. **J Biol Rhythms**, v. 28, n. 2, p. 141–151, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23606613>>.

KARITA, K. et al. Effect of overtime work and insufficient sleep on postural sway in information-technology workers. **Journal of Occupational Health**, v. 48, n. 1, p. 65–68, 2006.

KILLGORE, W. D. Effects of sleep deprivation on cognition. **Prog Brain Res**, v. 185, p. 105–129, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21075236>>.

KORCZAK, A. L. et al. Influence of Chronotype and Social Zeitgebers on Sleep/wake Patterns. **Braz J Med Biol Res**, v. 41, n. 10, p. 914–919, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18982197>>.

KURIYAMA, K.; STICKGOLD, R.; WALKER, M. P. Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. **Learning & Memory**, p. 705–713, 2004.

LAFOND, D.; PRINCE, F. Intrasession Reliability of Center of Pressure Measures of Postural Steadiness in Healthy Elderly People. **Archives of physical medicine**, v. 85, n. June, p. 896–901, 2004.

LEMOLA, S.; LEDERMANN, T.; FRIEDMAN, E. M. Variability of sleep duration is related to subjective sleep quality and subjective well-being: an actigraphy study. **PLoS One**, v. 8, n. 8, p. e71292, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23967186>>.

LENT, R. Cem Bilhões de Neurônios? Conceitos Fundamentais de Neurociência . In: [s.l.] Editora Atheneu, 2010. 2p. 848.

LEVINGER, P. et al. Swing limb mechanics and minimum toe clearance in people with knee osteoarthritis. **Gait and Posture**, v. 35, n. 2, p. 277–281, 2012.

LIM, J.; DINGES, D. F. Sleep deprivation and vigilant attention. In: Annals of the New York Academy of Sciences, **Anais...Blackwell Publishing Inc.**, 2008.

LIU, X. et al. Gait can reveal sleep quality with machine learning models. **PLOS ONE**, v. 14, n. 9, p. e0223012, 25 set. 2019. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0223012>>. Acesso em: 11 maio. 2020.

LOPEZ, C.; BLANKE, O. The thalamocortical vestibular system in animals and humans. **Brain Res Rev**, v. 67, n. 1–2, p. 119–146, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21223979>>.

LOUZADA, F.; MENNA-BARRETO, L. Sleep-wake cycle in rural populations. **Biological Rhythm Research**, v. 35, n. 1–2, p. 153–157, fev. 2004.

LUND, H. G. et al. Sleep Patterns and Predictors of Disturbed Sleep in a Large Population of College Students. **Journal of Adolescent Health**, v. 46, n. 2, p. 124–132, fev. 2010.

- LUYSTER, F. S. et al. Sleep: A Health Imperative. **Sleep**, v. 35, n. 6, p. 727–734, 2012.
- MACKAY-LYONS, M. Central pattern generation of locomotion: a review of the evidence. **Physical therapy**, v. 82, n. 1, p. 69–83, jan. 2002.
- MALONE, S. K. et al. Characteristics Associated With Sleep Duration, Chronotype, and Social Jet Lag in Adolescents. **J Sch Nurs**, v. 32, n. 2, p. 120–131, 2016. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26376832>>.
- MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. **Cronobiologia: Princípios e Aplicações**. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
- MARTIN, J. L.; HAKIM, A. D. Wrist actigraphy. **Chest**, v. 139, n. 6, p. 1514–1527, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21652563>>.
- MARTIN, S. E. et al. The effect of nonvisible sleep fragmentation on daytime function. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 155, n. 5, p. 1596–1601, 1997.
- MASAKI, H. et al. Neural mechanisms of timing control in a coincident timing task. **Exp Brain Res**, v. 218, n. 2, p. 215–226, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22415201>>.
- MCCOY, J. G.; STRECKER, R. E. **The cognitive cost of sleep lost** *Neurobiology of Learning and Memory*, 2011. .
- MOLINARI, M. Plasticity properties of CPG circuits in humans: Impact on gait recovery. **Brain Research Bulletin**, v. 78, n. 1, p. 22–25, 15 jan. 2009.
- MONDAL, P. et al. Relationship between the Pittsburgh Sleep Quality Index and the Epworth Sleepiness Scale in a sleep laboratory referral population. **Nat Sci Sleep**, v. 5, p. 15–21, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23620689>>.
- MOORE-EDE, M.; SULZMAN, F.; FULLER, C. The clocks that time us: physiology of the circadian timing system. 1982.
- MOTA, M. C. et al. Social jetlag and metabolic control in non-communicable chronic diseases: A study addressing different obesity statuses. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–8, 1 dez. 2017. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-017-06723-w>>. Acesso em: 21 jun. 2020.
- NAG, C.; PRADHAN, R. K. Impact of lifestyle on circadian orientation and sleep behaviour. **Sleep and Biological Rhythms**, v. 10, n. 2, p. 94–99, 28 abr. 2012.
- NARCISO, F. et al. Effects of shift work on the postural and psychomotor performance of night workers. **PloS one**, 2016. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0151609>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

NASHNER, L. M.; MCCOLLUM, G. The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 8, n. 1, p. 135, 4 mar. 1985. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract_S0140525X00020008>. Acesso em: 4 abr. 2018.

NECHIFOR, R. E. et al. Social jetlag and sleep deprivation are associated with altered activity in the reward-related brain areas: an exploratory resting-state fMRI study. **Sleep Medicine**, v. 72, p. 12–19, 1 mar. 2020.

OWINGS, T. M.; GRABINER, M. D. Step width variability, but not step length variability or step time variability, discriminates gait of healthy young and older adults during treadmill locomotion. **Journal of Biomechanics**, v. 37, n. 6, p. 935–938, 1 jun. 2004.

PATEL, M. et al. Effects of 24-h and 36-h sleep deprivation on human postural control and adaptation. **Experimental brain**, 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00221-007-1143-5>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

PERRY, J. **Análise de Marcha - Marcha Normal**. [s.l: s.n.]v. 1

PHAM, Q. C. et al. Robust evaluation of time since awakening using force platform posturography. **Revista Brasileira de Engenharia Biomedica**, v. 30, n. 4, p. 322–329, 2014.

PITTO, L. et al. Neural correlates of motor learning and performance in a virtual ball putting task. **IEEE Int Conf Rehabil Robot**, v. 2011, p. 5975487, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22275684>>.

QI, W. et al. Walking and finger tapping can be done with independent rhythms. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–10, 1 dez. 2019.

RAYMAKERS, J. A.; SAMSON, M. M.; VERHAAR, H. J. J. The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). **Gait and Posture**, v. 21, n. 1, p. 48–58, jan. 2005.

REDE RECORD. **Falta de sono afeta o controle dos movimentos - RecordTV - R7 Fala Brasil**, 2018. Disponível em: <<https://recordtv.r7.com/fala-brasil/videos/falta-de-sono-afeta-o-controle-dos-movimentos-06102018>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

REPP, B. H.; SU, Y. H. Sensorimotor Synchronization: A Review of Recent Research (2006-2012). **Psychon Bull Rev**, v. 20, n. 3, p. 403–452, 2013.

ROBILLARD, R. et al. Effects of increased homeostatic sleep pressure on postural control and their modulation by attentional resources. **Clinical Neurophysiology**, v. 122, n. 9, p. 1771–1778, 2011a.

ROBILLARD, R. et al. Aging worsens the effects of sleep deprivation on postural control. **PLoS ONE**, v. 6, n. 12, 2011b.

ROENNEBERG, T. et al. Social jetlag and obesity. **Curr Biol**, v. 22, n. 10, p. 939–943, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22578422>>.

ROENNEBERG, T.; MERROW, M. Entrainment of the human circadian clock. **Cold Spring Harb Symp Quant Biol**, v. 72, p. 293–299, 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18419286>>.

ROENNEBERG, T.; WIRZ-JUSTICE, A.; MERROW, M. Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes. **J Biol Rhythms**, v. 18, n. 1, p. 80–90, 2003. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12568247>>.

SADEH, A. The role and validity of actigraphy in sleep medicine: an update. **Sleep medicine reviews**, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1087079210001292>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

SARGENT, C. et al. Can a simple balance task be used to assess fitness for duty? **Accident Analysis and Prevention**, v. 45, n. SUPPL., p. 74–79, 2012.

SEGURA-JIMENEZ, V. et al. Agreement between self-reported sleep patterns and actigraphy in fibromyalgia and healthy women. **Clin Exp Rheumatol**, v. 33, n. 1 Suppl 88, p. S58-67, 2015. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25786045>>.

SIU, K.-C. et al. The Association of Sleep Loss and Balance Stability in Farmers. **Journal of Agromedicine**, v. 20, n. 3, p. 327–331, 2015.

SMITH, S. S.; CHENG, T.; KERR, G. K. The effect of extended wake on postural control in young adults. **Experimental Brain Research**, v. 221, n. 3, p. 329–335, 2012.

SOBEIH, T.; DAVIS, K.; SUCCOP, P. Postural balance changes in on-duty firefighters: effect of gear and long work shifts. **of Occupational and ...**, 2006. Disponível em: <http://journals.lww.com/joem/Abstract/2006/01000/Postural_Balance_Changes_in_On_Duty_Firefighters_.9.aspx>. Acesso em: 5 maio. 2017.

TAKAKUSAKI, K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. **Journal of Movement Disorders**, v. 10, n. 1, p. 1–17, jan. 2017.

THAUT, M. H.; MILLER, R. A.; SCHAUER, L. M. Multiple synchronization strategies in rhythmic sensorimotor tasks: Phase vs period correction. **Biological Cybernetics**, v. 79, n. 3, p. 241–250, 1998.

THAUT, M. H.; TIAN, B.; AZIMI-SADJADI, M. R. Rhythmic finger tapping to cosine-wave modulated metronome sequences: Evidence of subliminal entrainment. **Human Movement Science**, v. 17, n. 6, p. 839–863, 1 dez. 1998.

THOMANN, J. et al. Psychomotor Vigilance Task demonstrates impaired vigilance in disorders with excessive daytime sleepiness. **Journal of Clinical Sleep Medicine**, v. 10, n. 9, p. 1019–1024, 2014.

THOMAS, M. et al. Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. **Journal of Sleep Research**, v. 9, n. 4, p. 335–352, 2000. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2869.2000.00225.x>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

THOMAS, M.; SING, H.; BELENKY, G. Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain. **Journal of sleep**, 2000. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2869.2000.00225.x/full>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

TRESILIAN, J. R. Perceptual and cognitive processes in time-to-contact estimation: analysis of prediction-motion and relative judgment tasks. **Percept Psychophys**, v. 57, n. 2, p. 231–245, 1995. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7885822>>.

TUFIK, S. **Medicina e Biologia do Sono**. [s.l.] Editora Manole, 2008.

UMEMURA, G. S. et al. Biomechanical procedure to assess sleep restriction on motor control and learning. In: 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), **Anais...IEEE**, jul. 2017a. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29060138>>. Acesso em: 17 maio. 2019.

UMEMURA, G. S. et al. Comparison of sleep parameters assessed by actigraphy of healthy young adults from a small town and a megalopolis in an emerging country. In: 2017 IEEE Healthcare Innovations and Point of Care Technologies (HI-POCT), **Anais...IEEE**, nov. 2017b. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8227619/>>. Acesso em: 17 maio. 2019.

UMEMURA, G. S. et al. Social jetlag impairs balance control. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, 1 dez. 2018.

VAN DONGEN, H. P. A. et al. The Cumulative Cost of Additional Wakefulness: Dose-Response Effects on Neurobehavioral Functions and Sleep Physiology From Chronic Sleep Restriction and Total Sleep Deprivation. **Sleep**, v. 26, n. 2, p. 117–126, 1 mar. 2003. Disponível em: <<https://academic.oup.com/sleep/article-lookup/doi/10.1093/sleep/26.2.117>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

VAUGHAN, C. L.; DAVIS, B. L.; O'CONNOR, J. C. **Dynamics of human gait**. [s.l.] Human Kinetics Publishers, 1992.

VETTER, C. **Circadian disruption: What do we actually mean?** **European Journal of Neuroscience** Blackwell Publishing Ltd, , 1 jan. 2020. .

VIEL, E. **Marcha Humana, a Corrida E O Salto**. [s.l.] MANOLE, 2001.

WALKER, M. P. et al. Sleep-dependent motor memory plasticity in the human brain. **Neuroscience**, v. 133, n. 4, p. 911–917, 2005. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15964485>>.

WALKER, M. P.; STICKGOLD, R.; AVENUE, B. Sleep-Dependent Learning and Memory Consolidation. v. 44, p. 121–133, 2004.

WESSEL, K. et al. Self-Paced Versus Metronome-Paced 7 Finger Movements. **Journal of Neuroimaging**, v. 7, n. 3, p. 145–151, 1 jul. 1997. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jon199773145>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

WINTER, D. A.; PATLA, A. E.; FRANK, J. S. Assessment of balance control in humans. **Medical progress through technology**, v. 16, n. 1–2, p. 31–51, 1990.

WITTMANN, M. et al. Social Jetlag: Misalignment of Biological and Social Time. **Chronobiology International**, v. 23, n. 1–2, p. 497–509, 7 jan. 2006. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16687322>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

WOOLLACOTT, M.; SHUMWAY-COOK, A. Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. **Gait and Posture**, v. 16, n. 1, p. 1–14, 2002.

WU, J. C. et al. The effect of sleep deprivation on cerebral glucose metabolic rate in normal humans assessed with positron emission tomography. **Sleep**, v. 14, n. 2, p. 155–162, 1991. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1866529>>.

ZHAO, Z.; ZHAO, X.; VEASEY, S. C. **Neural consequences of chronic short sleep: Reversible or lasting?** *Frontiers in Neurology* Frontiers Media S.A., , 31 maio 2017. .

ZOUABI, A. et al. Is there a circadian rhythm of postural control and perception of the vertical? **Chronobiology International**, v. 33, n. 10, p. 1320–1330, nov. 2016.

9. ANEXOS

9.1 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – Testes de Controle Postural

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) para participar da pesquisa chamada “Efeito da qualidade do sono, avaliada por actimetria, no equilíbrio postural de estudantes do IF Sudeste MG”. Neste estudo pretendemos avaliar se a qualidade do sono influencia no equilíbrio postural (do corpo). O motivo que nos leva a estudar esse assunto é a necessidade de avaliarmos a repercussão da redução das horas de sono em atividades motoras (como é a atividade de controle postural). Para este estudo adotaremos os seguintes procedimentos: primeiramente, você responderá às perguntas de identificação (como nome, endereço, idade e renda); depois responderá às questões do questionário chamado Índice de Qualidade do Sono de Pittsburgh (exemplo de algumas perguntas: a que horas você vai dormir?; a que horas você se levanta?; toma algum medicamento para pegar no sono? etc); Na sequência, você ficará por 15 dias e 15 noites com um relógio de pulso, chamado actímetro, que gravará toda a sua movimentação (tempo em que ficou parado, tempo em que movimentou, de dia e de noite). Você só poderá retirá-lo na hora do banho e quando for entrar em piscinas, rios, cachoeiras, etc. Por fim, realizará o teste de equilíbrio postural em cima de uma plataforma que vai se tornando móvel a medida que o tempo passa. Nessa plataforma, você fará quatro testes de 30 segundos, cada. Dois com olhos abertos e dois com olhos fechados. Em um dos testes com olhos abertos e em um dos testes com olhos fechados, você terá que responder a duas questões (uma de matemática e uma de português) ao mesmo tempo em que tenta se equilibrar em cima da plataforma.

Para participar deste estudo você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido(a) em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Poderá retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido(a) pela pesquisadora. A pesquisadora irá tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Você não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Este estudo apresenta risco mínimo, isto é, o mesmo risco existente em atividades rotineiras. Eventualmente, durante a avaliação do equilíbrio na plataforma, caso você já tenha tido alguma torção do tornozelo, poderá sentir dor ou dificuldade na realização do teste. Em caso de perda de equilíbrio, você será instruído(a) a segurar nas barras laterais do aparelho até que retome o equilíbrio. Se necessário for, sentará até estar apto(a) novamente para o reinício dos testes. O benefício da pesquisa será para aqueles que forem identificadas com sono de qualidade ruim (que acordam de manhã já cansados). Para essas pessoas, o diagnóstico do problema no sono fará com sejam encaminhadas para o médico especialista.

Caso haja algum dano decorrente da sua participação na pesquisa, você tem assegurado(a) o direito a ressarcimento ou indenização. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão. Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com a pesquisadora responsável por um período de 5 anos, e após esse tempo serão destruídos. Este termo de consentimento encontra-se impresso

em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada pela pesquisadora responsável, e a outra será fornecida a você.

Eu, _____, portador(a) do documento de Identidade _____, fui informado(a) dos objetivos do presente estudo de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações e modificar minha decisão de participar se assim o desejar. Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.
_____, ____ de _____ de 20 ____ .

Assinatura do(a) participante

Assinatura da pesquisadora

Em caso de dúvidas com respeito aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar:

CEP- Comitê de Ética em Pesquisa – IF SUDESTE MG

Av. Francisco Bernardino, 165-centro

SALA 408 – 4º ANDAR

Juiz de Fora (MG) - CEP: 36013-100

Fone: (32) 3257-4113 / E-mail: etica.pesquisa@ifsudestemg.edu.br

Pesquisadora Responsável: Fabianne Magalhães Girardin Pimentel Furtado

Endereço: Rua Monsenhor José Augusto, nº 204 – Bairro São José

Barbacena (MG) - CEP: 36.205-018

Fone: (32) 3693-8600 / E-mail: fabianne.furtado@ifsudestemg.edu.br

9.2 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – Testes de Marcha Orientada pelo Metrônomo

Estudo: IMPACTO DA QUALIDADE DO SONO NO DESEMPENHO MOTOR

Você está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa “Impacto da qualidade do sono no desempenho motor”. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Trata-se de um estudo experimental testando a hipótese de que o controle e aprendizado motores nos braços e nas pernas são alterados pela falta de sono. Somente no final do estudo e após a análise dos dados poderemos confirmar esta hipótese. Sua colaboração neste estudo será de muita importância para nosso trabalho científico.

Eu, _____(nome),
_____(profissão), residente e domiciliado à _____, portador(a) da
Cédula de Identidade RG _____ e inscrito(a) no CPF/ MF
_____, nascido(a) em ____ / ____ / _____, abaixo assinado(a),

Estou ciente que:

1. Como participante voluntário desta pesquisa serei solicitado a usar um actímetro (instrumento parecido com um relógio de pulso, que mede minha atividade/repouso, minha temperatura e a luminosidade ambiental) por uma semana a fim de medir a qualidade e a duração média do meu sono antes de realizar as tarefas de controle e aprendizado motores descritos mais abaixo.

2. Realizarei uma ou duas combinações de tarefas experimentais. Serão realizadas medidas de atividade muscular (EMG), movimento e atividade cerebral (EEG). Os pontos de fixação dos eletrodos de superfície e dos marcadores sobre a pele serão previamente higienizados com álcool 70% e algodão, para em seguida ter os pelos removidos com um barbeador descartável. Serão fixados sobre a pele os eletrodos de superfície para a medida de EMG e os marcadores ou sensores inerciais para a medida do movimento. Os eletrodos são autoadesivos e os marcadores/sensores inerciais se fixam com esparadrapo médico, ambos atóxicos. Se colocará na cabeça o capacete para medição do EEG.

3. Como participante realizarei uma ou duas tarefas experimentais:

3.1. Uma tarefa com o membro superior um jogo eletrônico frente a um computador, movimentando a mão sobre uma webcam quando solicitado, com a resistência de uma faixa elástica que estará presa em uma extremidade, e fixa na mão do participante na outra extremidade, tendo a duração total de aproximadamente 10 minutos.

3.2. Será realizada primeiro uma familiarização da caminhada na esteira com a velocidade fixa de 4 km/h por 5 minutos. Em seguida será realizada a sessão dos testes composta por 15 séries sequenciais de 3 minutos cada, com intervalos de 3 minutos entre elas. Durante a caminhada será(ão) gerado(s) estímulos auditivo(s) e/ou visual(is), que serão selecionados aleatoriamente.

4. Informarei aos pesquisadores sobre a utilização de medicações ou drogas que interfiram no meu sono, prescritas ou não, que eu tenha tomado no último mês, e outras que eu esteja tomando ou pretenda tomar.

5. A participação neste projeto não tem o objetivo de me submeter a um tratamento, bem como não me acarretará qualquer despesa financeira ou remuneração com relação aos procedimentos efetuados no estudo.

6. Os riscos causados pela coleta são mínimos: raramente ocorre um leve desconforto, como coceira, causado pelo uso do actímetro ou dos electrodos. Ainda terei como benefícios: 1) ser informado sobre os resultados da pesquisa; 2) desfrutar dos possíveis conhecimentos que sejam gerados e que sejam aplicáveis à minha saúde; 7. Poderei desistir de cumprir a tarefa a qualquer momento sem prejuízos ou custos e sem necessidade de explicação;

8. Os resultados obtidos nesta pesquisa serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados;

9. O participante que assim o desejar poderá tomar conhecimento dos próprios resultados, ao final desta pesquisa;

Desejo conhecer os meus resultados Não desejo conhecer os meus resultados

10. Garantia de acesso: em qualquer etapa do estudo, terei acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. O principal investigador é o Prof. Dr. Arturo Forner-Cordero, que pode ser encontrado no seguinte endereço: Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Departamento de Engenharia Mecatrônica - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) - Av. Prof. Lineu Prestes, 2565 - Cidade Universitária - CEP: 05508-000 - São Paulo - SP; Tel. : (11) 3091-9457; Fax: (11) 3091-9479; email: cep@hu.usp.br; _____

11. É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem qualquer prejuízo;

12. O pesquisador tem o compromisso de utilizar os dados e o material coletado somente para esta pesquisa. 13. De acordo com a resolução 196/96 _ Estou recebendo uma via deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Declaro ainda que concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário do projeto “IMPACTO DA QUALIDADE DO SONO NO DESEMPENHO MOTOR”. Declaro que obtive todas as informações necessárias, bem como todos os eventuais esclarecimentos quanto às dúvidas por mim apresentadas.

São Paulo, ____ de _____ de _____.

Voluntário/ Responsável: _____

Testemunha:

9.3 Questionário de cronotipos de Horne e Otsberg

NOME:

DATA:

Questionários de Identificação de Indivíduos Matutinos e Vespertinos

Instruções:

- Leia com atenção cada questão antes de responder. Responda todas as questões.
- Responda as questões na ordem numérica.
- Cada questão deve ser respondida independente das outras; não volte atrás e nem corrija suas respostas anteriores.
- Para cada questão coloque apenas uma resposta (uma cruz no local correspondente); algumas questões têm uma escala, nestes casos coloque a cruz no ponto apropriado da escala.
- Responda cada questão com toda a honestidade possível. Suas respostas e os resultados são confidenciais.

1. Considerando apenas o seu bem-estar pessoal e com liberdade total de planejar seu dia, a que horas você se levantaria?

5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	----	----	----

2. Considerando apenas o seu bem-estar pessoal e com liberdade total de planejar sua noite, a que horas você se deitaria?

20	21	22	23	24	01	02	03
----	----	----	----	----	----	----	----

3. Até que ponto você depende do despertador para acordar de manhã?

- Nada dependente
- Não muito dependente
- Razoavelmente dependente
- Muito dependente

4. Você acha fácil acordar de manhã?

- Nada fácil
- Não muito fácil
- Razoavelmente fácil
- Muito fácil

5. Você se sente alerta durante a primeira meia hora depois de acordar?

- Nada alerta
- Não muito alerta
- Razoavelmente alerta.
- Muito alerta

6. Como é o seu apetite durante a primeira hora depois de acordar?

- Muito ruim
- Não muito ruim
- Razoavelmente ruim
- Muito bom

7. Durante a primeira meia hora depois de acordar você se sente cansado?

- Muito cansado
- Não muito cansado
- Razoavelmente em forma
- Em plena forma

8. Se você não tem compromisso no dia seguinte e comparando com sua hora habitual, a que horas você gostaria de ir deitar?

- Nunca mais tarde
- Menos que uma hora mais tarde
- Entre uma e duas horas mais tarde
- Mais do que duas horas mais tarde

9. Você decidiu fazer exercícios físicos. Um amigo sugeriu o horário das 7:00 às 8:00 horas da manhã, duas vezes por semana. Considerando apenas o seu bem-estar pessoal, o que você acha de fazer exercícios nesse horário?

- Estaria em boa forma
- Estaria razoavelmente em forma
- Acharia isso difícil
- Acharia isso muito difícil

10. A que horas da noite você se sente cansado e com vontade de dormir?

20	21	22	23	24	01	02	03
----	----	----	----	----	----	----	----

11. Você quer estar no máximo de sua forma para fazer um teste que dura horas e que você sabe que é mentalmente cansativo. Considerando apenas o seu bem-estar pessoal, qual desses horários você escolheria para fazer este teste?

- Das 8 às 10 horas
- Das 11 às 13 horas
- Das 15 às 17 horas
- Das 19 às 21 horas

12. Se você fosse se deitar às 23 horas em que nível de cansaço você se sentiria?

- Nada cansado
- Um pouco cansado
- Razoavelmente cansado
- Muito cansado

13. Por alguma razão você foi dormir várias horas mais tarde do que é seu costume. Se no dia seguinte você não tiver hora certa para acordar, o que aconteceria com você?

- Acordaria na hora normal, sem sono.
- Acordaria na hora normal, com sono.
- Acordaria na hora normal, e dormiria novamente.
- Acordaria mais tarde do que seu costume.

14. Se você tiver que ficar acordado das 4 às 6 horas para realizar uma tarefa e não tiver compromissos no dia seguinte, o que você faria?

- Só dormiria depois de fazer a tarefa
- Tiraria uma soneca antes da tarefa e dormiria depois
- Dormiria bastante antes e tiraria uma soneca depois
- Só dormiria antes de fazer a tarefa.

15. Se você tiver que fazer duas horas de exercício físico pesado e considerando apenas o seu bem-estar pessoal, qual destes horários você escolheria?

- Das 8 às 10 horas
- Das 11 às 13 horas
- Das 15 às 17 horas
- Das 19 às 21 horas

16. Você decidiu fazer exercícios físicos. Um amigo sugeriu o horário das 22 às 23 horas, duas vezes por semana. Considerando apenas o seu bem estar pessoal o que você acha de fazer exercícios nesses horários?

- Estaria em boa forma
- Estaria razoavelmente em forma
- Acharia isso difícil
- Acharia isso muito difícil

17. Suponha que você possa escolher o seu próprio horário de trabalho e que você deva trabalhar cinco horas seguidas por dia. Imagine que seja um serviço interessante e que você ganhe por produção. Qual horário que você escolheria?

24	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

18. A que hora do dia você atinge seu melhor momento de bem-estar?

24	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

19. Fala-se em pessoas matutinas e vespertinas (as primeiras gostam de acordar cedo e dormir cedo, as segundas de acordar tarde e dormir tarde). Com qual desses tipo você se identifica?

- Tipo matutino
- Mais matutino que vespertino
- Mais vespertino que matutino
- Tipo vespertino

Cálculo do questionário

Questão 1.

Pontos:

5: de 5 às 6:30

4: de 6:30 às 7:45

3: de 7:45 às 9:45

2: de 9:45 às 11

1: de 11 às 12

Questão 2.

Pontos:

5: 20 às 21

4: 21 às 22:15

3: 22:15 às 0:30

2: 0:30 às 1:45

1: 1:45 às 3:00

Questão 3.

Pontos:

4: Nada dependente

3: Não muito dependente

2: Razoavelmente dependente

1: Muito dependente

Questão 4

Pontos:

1: Nada fácil

2: Não muito fácil

3: Razoavelmente fácil

4: Muito fácil

Questão 5.

Pontos:

1: Nada alerta

2: Não muito alerta

3: Razoavelmente alerta

4: Muito alerta

Questão 6.

Pontos:

1: Muito ruim

2: Não muito ruim

3: Razoavelmente bom

4: Muito bom

Questão 7.

Pontos:

- 1: Muito
- 2: Não muito
- 3: Razoavelmente
- 4: Em plena forma

Questão 8

Pontos:

- 4: Nunca mais tarde
- 3: Menos que uma hora mais tarde
- 2: Entre uma e duas horas mais tarde
- 1: Mais do que duas horas mais tarde

Questão 9.

Pontos:

- 4: Estaria em boa forma
- 3: Estaria razoavelmente em boa forma
- 2: Acharia isso difícil
- 1: Acharia isso muito difícil

Questão 10.

Pontos:

- 5: 20 às 21
- 4: 21 às 22:15
- 3: 22:15 às 0:45
- 2: 0:45 às 2
- 1: 2 às 3

Questão 11.

Pontos:

- 6: 8 às 10
- 4: 11 às 13
- 2: 15 às 17

0: 19 às 21

Questão 12

Pontos:

0: Nada cansado

2: Um pouco cansado

3: Razoavelmente cansado

5: Muito cansado

Questão 13

Pontos:

4: Acordaria na hora normal, sem sono

3: Acordaria na hora normal, com sono

2: Acordaria na hora normal e dormiria novamente

1: Acordaria mais tarde que de costume

Questão 14

Pontos:

1: Só dormiria depois de fazer a tarefa

2: Tiraria uma soneca antes da tarefa e dormiria depois

3: Dormiria bastante antes e tiraria uma soneca depois

4: Só dormiria antes de fazer a tarefa

Questão 15

Pontos:

4: 8 às 10

3: 11 às 13

2: 15 às 17

1: 19 às 21

Questão 16.

Pontos:

1: Estaria em boa forma

2: Estaria razoavelmente em forma

3: Acharia isso difícil

4: Acharia isso muito difícil

Questão 17.

Pontos:

1: 0 às 4

5: 4 às 8

4: 8 às 9:30

3: 9:30 às 14

2: 14 às 17

1: 22 às 24

Questão 18.

Pontos:

1: 0 às 5

5: 5 às 8

4: 8 às 10

3: 10 às 17

2: 17 às 22

1: 22 às 24

Questão 19.

Pontos:

6: Tipo matutino

4: Mais matutino que vespertino

2: Mais vespertino que matutino

0: Tipo vespertino

CLASSIFICAÇÃO

MATUTINO 70 – 86 pontos

MODERADAMENTE MATUTINO 59 – 69 pontos

INTERMEDIÁRIO 42 – 58 pontos

MODERADAMENTE VEPERTINO 31 – 41 pontos

VESPERTINO 16 – 30 pontos

9.4 Questionário de Qualidade de sono de Pittsburgh

Índice de qualidade de sono de Pittsburgh

Nome: _____ Data: _____

Instruções:

As seguintes perguntas são relativas aos seus hábitos de sono durante o último mês somente. Suas respostas devem indicar a lembrança mais exata da maioria dos dias e noites do último mês. Por favor, responda a todas as perguntas.

1. Durante o último mês, quando você geralmente foi para a cama à noite?

Hora usual de deitar: _____

2. Durante o último mês, quanto tempo (em minutos) você geralmente levou para dormir à noite?

Número de minutos: _____

3. Durante o último mês, quando você geralmente levantou de manhã?

Hora usual de levantar: _____

4. Durante o último mês, quantas horas de sono você teve por noite? (Este pode ser diferente do número de horas que você ficou na cama).

Horas de sono por noite: _____

Para cada uma das questões restantes, marque a melhor (uma) resposta. Por favor, responda a todas as questões.

5. Durante o último mês, com que frequência você teve dificuldade de dormir porque você:

(a) Não conseguiu adormecer em até 30 minutos

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(b) Acordou no meio da noite ou de manhã cedo

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(c) Precisou levantar para ir ao banheiro

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____
1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(d) Não conseguiu respirar confortavelmente

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____
1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(e) Tossiu ou roncou forte

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____
1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(f) Sentiu muito frio

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____
1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(g) Sentiu muito calor

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____
1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(h) Teve sonhos ruins

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____
1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(i) Teve dor

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____
1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(j) Outra(s) razão(ões), por favor descreva:

Com que frequência, durante o último mês, você teve dificuldade para dormir devido a essa razão?

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____
1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

6. Durante o último mês, como você classificaria a qualidade do seu sono de uma maneira geral?

Muito boa _____

Boa _____

Ruim _____

Muito ruim _____

7. Durante o último mês, com que frequência você tomou medicamento (prescrito ou “por conta própria”) para lhe ajudar a dormir?

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

8. No último mês, com que frequência você teve dificuldade de ficar acordado enquanto dirigia, comia ou participava de uma atividade social (festa, reunião de amigos, trabalho, estudo)?

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

9. Durante o último mês, quão problemático foi para você manter o entusiasmo (ânimo) para fazer as coisas (suas atividades habituais)?

Nenhuma dificuldade _____

Um problema leve _____

Um problema razoável _____

Um grande problema _____

10. Você tem um(a) parceiro [esposo(a)] ou colega de quarto?

Não _____

Parceiro ou colega, mas em outro quarto _____

Parceiro no mesmo quarto, mas não na mesma cama _____

Parceiro na mesma cama _____

Se você tem um parceiro ou colega de quarto, pergunte a ele/ela com que frequência, no último mês, você teve ...

(a) Ronco forte

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(b) Longas paradas na respiração enquanto dormia

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(c) Contrações ou puxões nas pernas enquanto você dormia

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(d) Episódios de desorientação ou confusão durante o sono

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

(e) Outras alterações (inquietações) enquanto você dorme; por favor, descreva

Nenhuma no último mês _____ Menos de 1 vez/ semana _____

1 ou 2 vezes/ semana _____ 3 ou mais vezes/ semana _____

Componente 1	#9 Score.....	C1 _____
Componente 2	#2 Score (≤ 15 min=0; 16-30 min=1; 31-60 min=2, >60 min=3) + #5a Score (if sum is equal 0=0; 1-2=1; 3-4=2; 5-6=3).....	C2 _____
Componente 3	#4 Score ($>7=0$; 6-7=1; 5-6=2; $<5=3$).....	C3 _____
Componente 4	(total # of hours asleep)/(total # of hours in bed) x 100 >85%=0, 75%-84%=1, 65%-74%=2, <65%=3.....	C4 _____
Componente 5	Sum of Scores #5b to #5j (0=0; 1-9=1; 10-18=2; 19-27=3).....	C5 _____
Component 6	#6 Score	C6 _____
Component 7	#7 Score + #8 Score (0=0; 1-2=1; 3-4=2; 5-6=3).....	C7 _____

8.5 Escala de Sonolência de Epworth

Escala de Sonolência de Epworth Nome: _____

Qual a probabilidade de você cochilar ou dormir, e não apenas se sentir cansado nas seguintes situações? Considere o modo de vida que você tem levado recentemente. Mesmo que você não tenha feito alguma destas coisas recentemente, tente imaginar como elas o afetariam. Escolha o número mais apropriado para responder cada questão:

0 = nunca cochilaria

1 = pequena probabilidade de cochilar

2 = probabilidade média de cochilar

3 = grande probabilidade de cochilar

Situação	Probabilidade			
	0	1	2	3
Sentado e lendo				
Assistindo TV				
Sentado, quieto, em um lugar público (por exemplo, em um teatro, reunião ou palestra)				
Andando de carro por 1 hora sem parar, como passageiro				
Ao deitar-se à tarde para descansar, quando possível				
Sentado, conversando com alguém				
Sentado quieto após o almoço, sem bebida de álcool				
Em um carro parado no trânsito por alguns minutos				

Total: _____