

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Departamento de Educação Física, Faculdade de Ciências - Bauru

VINICIUS DE PAULA RODRIGUES

**EFEITOS DE UMA TAREFA DE INDUÇÃO DE IMAGENS MENTAIS SOBRE A
EXPLORAÇÃO VISUAL E O CONTROLE DO VEÍCULO EM MOTORISTAS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE EXPERIÊNCIA**

**Bauru
2025**

Vinicius De Paula Rodrigues

**EFEITOS DE UMA TAREFA DE INDUÇÃO DE IMAGENS MENTAIS SOBRE A
EXPLORAÇÃO VISUAL E O CONTROLE DO VEÍCULO EM MOTORISTAS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE EXPERIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Faculdade de Ciências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de
Bauru, para obtenção do grau de Bacharel em
Educação Física.

Orientador: Sérgio Tosi Rodrigues

**Bauru
2025**

Rodrigues, Vinicius de Paula.

Efeitos de uma tarefa de indução de imagens mentais sobre a exploração visual e o controle do veículo em motoristas com diferentes níveis de experiência / Vinicius de Paula Rodrigues, Sérgio Tosi Rodrigues. - Bauru, 2025

59 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Educação Física)-Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru

Orientador: Sérgio Tosi Rodrigues

1. Carga de Trabalho Mental. 2. Pupilometria. 3. Comportamento do olhar. I. Rodrigues, Vinicius de Paula. II. Rodrigues, Sérgio Tosi. III. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. IV. Efeitos de uma tarefa de indução de imagens mentais.

VINICIUS DE PAULA RODRIGUES

**EFEITOS DE UMA TAREFA DE INDUÇÃO DE IMAGENS MENTAIS SOBRE A
EXPLORAÇÃO VISUAL E O CONTROLE DO VEÍCULO EM MOTORISTAS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE EXPERIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Faculdade de Ciências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de
Bauru, para obtenção do grau de Bacharel em
Educação Física.

Data da defesa: 26/11/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Sérgio Tosi Rodrigues

UNESP – Faculdade de Ciências – Campus de Bauru

Prof. Dr. Fábio Augusto Barbieri

UNESP – Faculdade de Ciências – Campus de Bauru

Prof. Dr. Gustavo de Andrade Silva

UNESP – Instituto de Biociências – Campus de Rio Claro

Dedico este trabalho aos meus amados pais, que até aqui me sustentaram e me permitiram viver a Universidade Pública.

Em primeiro lugar, expresso minha profunda gratidão a Deus pela vida, pela sabedoria concedida e por todas as pessoas que Ele colocou ao meu lado durante esta jornada.

Agradeço de coração aos meus pais pela paciência, confiança e apoio incondicional ao longo destes seis anos de graduação. Obrigado por me sustentarem e por serem meu porto seguro em meio às incertezas da vida. Sem a confiança de vocês, nada disso teria sido possível. À minha família, em especial ao meu irmão Samuel e ao meu avô Nicodeme, meu muito obrigado por me acompanharem nessa trajetória. Cada gesto de apoio, independentemente de como foi dado, teve um significado imenso para mim. Agradeço também, em memória, à minha avó Alice Pereira, pela companhia, paciência, conversas e orações que marcaram toda a minha caminhada.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Sérgio Tosi Rodrigues, deixo meu sincero agradecimento. Apesar da correria e dos compromissos da vida acadêmica, nossos encontros e conversas foram sempre enriquecedores. Aprendi muito sobre a Academia por meio de suas histórias e experiências. O pouco que sei hoje devo às nossas discussões. Obrigado pela disponibilidade, paciência e, claro, pela oportunidade de integrar o Laboratório de Informação, Visão e Ação (LIVIA). Foi o senhor quem me proporcionou uma chance que eu jamais imaginei ter, e pretendo levar adiante esse legado. Mais uma vez, meu eterno agradecimento. De modo semelhante, agradeço a Profa. Dra. Paula Fávaro Polastri pela confiança, conversas e conselhos.

Aos amigos, meu obrigado pelos ensinamentos, diálogos e companheirismo. Destaco meus amigos(as) Arthur Augusto Dutra, Gustavo de Andrade Silva, Henrique dos Santos Disessa e Giovana Tomaselli de Oliveira, Gisele Chiozi Gotardi – foi um prazer trocar ideias acadêmicas e pessoais com vocês. Todos vocês possuem uma importância em minha vida, e eu agradeço a Deus por vocês terem surgido em minha vida. Em especial, obrigado, Giovanna pelo companheirismo durante toda a graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agradeço o auxílio financeiro durante os seis anos de graduação. Foi por meio do Programa de Iniciação Científica e Tecnológica (PIBIC) que me encontrei profissionalmente e pude definir os rumos da minha carreira. Da mesma forma, registro meu agradecimento à UNESP pela oportunidade de formação.

A todos que de alguma maneira participaram ou cruzaram meu caminho, meu muito obrigado. Independentemente de como, vocês de alguma forma modificaram algo em minha caminhada, e eu, em respeito, agradeço.

RESUMO

O presente estudo investigou os efeitos de uma tarefa secundária de indução de imagens mentais sobre o comportamento do olhar, a carga de trabalho mental (medida por pupilometria) e o desempenho da direção em motoristas experientes e novatos, durante a condução simulada em diferentes condições de perigo (Sem Perigo, Perigo Central, Perigo Periférico). Vinte e seis motoristas (13 novatos e 13 experientes) realizaram 24 tentativas em um simulador de direção, combinando a presença ou ausência da tarefa cognitiva com os três tipos de cenário de perigo. A tarefa secundária consistiu em mover mentalmente um quadrado azul em uma matriz 3x3 seguindo instruções auditivas. Foram analisadas a variância horizontal das fixações oculares, a amplitude máxima da pupila (PICO), a variabilidade da posição lateral e da velocidade longitudinal do veículo, e os erros na tarefa secundária. Os resultados indicaram que a tarefa secundária reduziu significativamente a dispersão horizontal das fixações, corroborando a hipótese de um afunilamento do campo visual (visão de túnel). Contrariamente às outras hipóteses, a presença da tarefa secundária levou a uma redução da oscilação lateral do veículo, e não foram encontrados efeitos significativos sobre a dilatação pupilar. O tipo de perigo influenciou o comportamento: o Perigo Periférico resultou em maior dispersão das fixações e maior variabilidade da velocidade longitudinal em comparação ao Perigo Central e à condição Sem Perigo. Além disso, tanto o Perigo Periférico quanto o Central levaram a mais erros na tarefa secundária. Motoristas novatos apresentaram maior variabilidade da velocidade longitudinal do que os experientes, mas não diferiram significativamente na medida de dilatação pupilar. Conclui-se que a tarefa de indução de imagens mentais prejudica a exploração visual, mas pode, paradoxalmente, levar a uma maior estabilidade lateral do veículo, possivelmente devido a uma concentração do olhar no centro da pista. Os diferentes tipos de perigo demandam estratégias atencionais distintas, com o perigo periférico exigindo um redirecionamento da atenção que compromete o desempenho na tarefa secundária. A experiência do motorista manifestou-se mais no controle da velocidade do que na medida fisiológica de carga mental.

Palavras-chave: Carga de Trabalho Mental, Pupilometria, Comportamento do Olhar, Direção de Automóvel, Tarefa Secundária, Indução de Imagens Mentais.

ABSTRACT

This study investigated the effects of a secondary mental imagery induction task on gaze behavior, mental workload (measured by pupillometry), and driving performance in experienced and novice drivers during simulated driving under different hazard conditions (No Hazard, Central Hazard, Peripheral Hazard). Twenty-six drivers (13 novices and 13 experienced) performed 24 trials in a driving simulator, combining the presence or absence of the cognitive task with the three types of hazard scenarios. The secondary task consisted of mentally moving a blue square in a 3x3 matrix following auditory instructions. The horizontal variance of eye fixations, the maximum pupil diameter (PEAK), the variability of the vehicle's lateral position and longitudinal speed, and errors in the secondary task were analyzed. The results indicated that the secondary task significantly reduced the horizontal dispersion of fixations, supporting the hypothesis of a narrowing of the visual field (tunnel vision). Contrary to the hypotheses, the presence of the secondary task led to a reduction in lateral vehicle oscillation, and no significant effects were found on pupil dilation. The type of hazard influenced behavior: the Peripheral Hazard resulted in greater fixation dispersion and greater longitudinal speed variability compared to the Central Hazard and the No Hazard condition. Furthermore, both Peripheral and Central Hazards led to more errors in the secondary task. Novice drivers showed greater longitudinal speed variability than experienced drivers but did not differ significantly in the pupil dilation measure. It is concluded that the mental imagery induction task impairs visual exploration but may, paradoxically, lead to greater lateral vehicle stability, possibly due to a concentration of gaze on the center of the road. The different types of hazards demand distinct attentional strategies, with the peripheral hazard requiring a redirection of attention that compromises performance in the secondary task. Driver experience was more evident in speed control than in the physiological measure of mental load.

Keywords: Mental Workload, Pupillometry, Gaze Behavior, Automobile Driving, Secondary Task, Mental Imagery Induction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dados ilustrativos da curva média ($\pm$ erro padrão) da dilatação da pupila 500 ms antes e 500 ms após o início de cada fixação; neste exemplo, a curva média resultou de 1063 curvas (uma a cada fixação, acumulando as tentativas de todos os participantes). O valor zero no eixo horizontal (Tempo) representa o instante do início de cada fixação; o valor zero no eixo vertical (Dilatação da pupila) representa a referência de tamanho da pupila no início da fixação - linha de base, com valores positivos sendo interpretados como dilatação da pupila e negativos como constrição da pupila. A amplitude máxima da curva (PICO) e seu respectivo tempo (TPICO) estão representados, respectivamente, pelo círculo cheio e círculo vazio.	19
Figura 2 - Rastreador dos movimentos dos olhos (A), simulador de direção com o cockpit e acessórios (B), painéis do experimentador (C), alto-falantes utilizado para evocar as instruções de movimento conectados via cabo USB com o notebook (D).	28
Figura 3 - Cenário da simulação de direção na condição Sem Perigo e Perigo Central (à esquerda). Cenário da simulação de direção na condição Perigo Periférico (à direita).	30
Figura 4 - Tarefa de indução de imagem mental no ponto inicial (quadrado azul no centro da matriz) (à esquerda); imagem mostrada ao final da tentativa (à direita).	30
Figura 5 - Variância horizontal das fixações oculares comparando condições sem e com tarefa cognitiva. (*) Diferença significativa encontrada.	36
Figura 6 – Curva média ($\pm$ erro padrão) da dilatação da pupila 500 ms antes e 500 ms após o início de cada fixação. O valor zero no eixo horizontal (Tempo) representa o instante do início de cada fixação; o valor zero no eixo vertical (Dilatação da pupila) representa a referência de tamanho da pupila no início da fixação - linha de base, com valores positivos sendo interpretados como dilatação da pupila e negativos como constrição da pupila.	37
Figura 7 - Variabilidade lateral do veículo comparando condições sem e com tarefa cognitiva. (*) Diferença significativa encontrada.	37
Figura 8 - Variância horizontal das fixações oculares comparando as diferentes condições de perigo (Sem, Central, Periférico). (*) Diferença significativa encontrada.	38
Figura 9 - Variabilidade longitudinal do veículo comparando as diferentes condições de perigo (Sem, Central, Periférico). (*) Diferença significativa encontrada.	39
Figura 10 - Quantidade de erros durante a tarefa cognitiva comparando nas diferentes condições de perigo (Sem, Central, Periférico). (*) Diferença significativa encontrada.	40
Figura 11 - Variabilidade longitudinal do veículo comparando entre os grupos de motoristas experientes e novatos. (*) Diferença significativa encontrada.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantificação da experiência dos motoristas experientes e novatos pela média e desvio-padrão.	27
Tabela 2 - Descrição dos dados antropométricos (Idade, peso corporal, estatura) dos motoristas experientes e novatos pela média e desvio-padrão.	27
Tabela 3 - Delineamento experimental – condição de tarefa cognitiva (Sem Tarefa Cognitiva, Com Tarefa Cognitiva), condição de perigo (Sem Perigo, Perigo Central, Perigo Periférico) e condição tentativa (1, 2, 3, 4).	29
Tabela 4 - Descrição das colunas de interesse utilizadas para cálculo das variáveis dependentes.	33
Tabela 5 - Descrição das colunas de interesse utilizadas para cálculo das variáveis dependentes.	34
Tabela 6 - Descrição das colunas de interesse utilizadas para cálculo das variáveis dependentes.	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

WHO – World Health Organization (Organização Mundial de Saúde)
GPS - Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
NASA - National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)
NASA-TLX – NASA Task Load Index (Índice de Carga de Tarefas da NASA)
Escala MCH - Modified Cooper Harper Scale (Escala Cooper Harper Modificada)
RSME - Rating Scale Mental Effort (Escala de Classificação de Esforço Mental)
SWAT - Subjective Workload Assessment Technique (Técnica de Avaliação Subjetiva da Carga de Trabalho)
PICO – Amplitude máxima da curva da pupila
LHIPA - Low/High Index of Pupillary Activity (Índice baixo/alto de atividade pupilar)
RIPA – Real-time IPA (Índice em tempo real da atividade pupilar)

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivos do trabalho	12
1.2. Hipóteses do trabalho	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. Carga de trabalho mental	13
2.1.1. Teoria dos Múltiplos Recursos	13
2.1.2. Estudos sobre indução de imagens mentais	14
2.2. Pupilometria	17
2.2.1. Média da Resposta Pupilar alinhada à Fixação	18
2.3. Condução de Automóveis	19
2.3.1. Tarefas Concorrentes e Comportamento do Olhar	20
2.3.3. Tarefas Concorrentes e Condução de Automóvel	22
2.3.4. Experiência e Condução de Automóvel	24
3. MÉTODOS	26
3.1. Participantes	26
3.2. Equipamentos e Softwares	27
3.3. Delineamento Experimental	28
3.3.1. Condições e Tarefas Experimentais	28
3.4. Procedimento Experimental	31
3.5. Análise dos Dados	31
3.5.1. Variáveis dependentes	31
3.5.2. Diâmetro da Pupila e Movimento dos Olhos	32
3.5.3. Desempenho da Direção	34
3.5.4. Desempenho do Motorista	34
3.6. Análise Estatística	35
4. RESULTADOS	36
5. DISCUSSÃO	42
5.1. Efeitos da tarefa sobre o comportamento do olhar e desempenho da direção	42
5.2. Efeitos do tipo de perigo sobre o comportamento do olhar e desempenho da direção	44
5.3. Efeitos de grupo sobre o desempenho da direção	45
5.4. Limitações do presente estudo	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICES	53

1. INTRODUÇÃO

A distração durante a condução de veículos é uma das principais causas de acidentes no Brasil e no mundo (Andrade e Antunes, 2020; WHO, 2023), podendo ser desencadeada por um evento externo que desvie a atenção da tarefa principal realizada pelo motorista, para uma tarefa secundária (Andrade e Antunes, 2020), tal como atender ao telefone celular ou usar o sistema de infoentretenimento do veículo. Embora a literatura científica sobre distração ao celular seja amplamente estudada (Desmet e Diependaele, 2019; Harbluk et al. 2007; Huemer et al. 2018; Huemer e Vollrath 2011; Patten et al. 2004; Stavrinos et al. 2013; Strayer et al. 2015; Metz et al. 2015; Li et al. 2021), outros tipos de distratores, como conversar com o passageiro, seguir as instruções auditivas do sistema de posicionamento global (GPS) ou olhar para um outdoor, também podem gerar desvios de atenção na tarefa principal de condução de automóvel (Briggs et al., 2011; 2016; Chen, 2022; Engström et al. 2017; Jazayeri et al. 2018; Wu et al. 2024; Kountouriotis et al. 2015). A distração gerada por tarefas secundárias durante a condução de automóvel pode trazer prejuízos ao comportamento do olhar (Briggs et al. 2011, Carizio et al., 2017), desempenho da direção (Bakiri et al. 2013; Briggs et al. 2011; Briggs et al. 2018; Engström et al. 2017; Nowosielki et al. 2018) e aumentar consideravelmente o esforço mental (Carizio et al., 2021), elevando de forma significativa o risco de acidentes automobilísticos (Niezgoda et al. 2015; Wu et al. 2024; 2025).

Alguns tipos de tarefa secundária, como de indução de imagens mentais, possuem componentes adicionais que podem interferir no desempenho da tarefa principal. Por exemplo, com intuito de reduzir o tempo de viagem até o local de trabalho, um motorista pode recorrer a duas estratégias principais: (i) mapear mentalmente a rota mais rápida ou (ii) seguir atentamente os comandos de voz proferidos pelo GPS, como “Vire à direita”; “Siga em frente”. Nesse caso, o mapeamento e a audição de comandos de voz de direção possuem intrinsecamente componentes visuais que propiciam a geração de imagens mentais por meio do canal visual (Bergen et al., 2013; Briggs et al., 2016). Dessa forma, ao executar uma tarefa de direção de automóvel simultaneamente a tarefa de indução de imagens mentais, o comportamento visual e motor dos motoristas pode ser prejudicado, pois a percepção visual e a geração de imagens mentais utilizam o mesmo canal sensorial (Pearson, 2015; 2019). Estudos anteriores mostraram os efeitos de tarefas secundárias de indução de imagens mentais sobre o desempenho de tarefas visuais (Walcher et al., 2023; Korda et al., 2023); tempo de resposta aos estímulos de perigo (Briggs et al., 2016) e comportamento do olhar (Recarte e Nunes, 2000; Briggs et al., 2016). De modo geral, seus principais achados mostraram que: (i) a tarefa visuoespacial atrasou as

sacadas independente da condição de carga de trabalho (alta, baixa), sugerindo que o desacoplamento perceptivo é altamente sensível ao consumo de recursos visuoespaciais e, as altas cargas de trabalho internas resultaram em menor capacidade de manter a fixação antes do início da sacada (Walcher et al., 2023; Korda et al., 2023); (ii) motoristas em dupla tarefa foram mais lentos para responder a perigos em comparação com motoristas sem dupla tarefa. Para a maioria dos perigos, a distração indutora de imagens resultou em tempos de resposta significativamente mais longos do que a distração não indutora de imagens (Briggs et al., 2016); (iii) a tarefa de indução de imagens mentais reduziu o padrão de varredura visual e a variância das fixações, reduziu a inspeção de áreas periféricas, levou a fixações mais longas e aumentou a ocorrência de erros LBFS (do inglês, *Looked but failed to see*) (Briggs et al., 2016; Recarte e Nunes, 2000). Embora a literatura científica detenha diferentes estudos sobre tarefas de indução de imagens mentais, restam algumas lacunas de conhecimento. A tarefa de indução de imagens mentais foi pouco implementada em contextos de direção de automóvel. Aqueles que a implementaram nesse contexto, utilizaram diferentes métodos de indução de imagens mentais, como Briggs et al. (2016) que se baseou no modelo desenvolvido por Kerr (1993) de uma matriz bidimensional de 3x3 e, Recarte e Nunes (2000) que utilizou a rotação das letras do alfabeto para induzir imagens mentais nos participantes. No entanto, a implementação realizada por Briggs et al. (2016) se deu em um ambiente onde o motorista não interagiu com o contexto de direção de automóvel, mas somente reagiu a vídeos de direção que eram projetados em uma tela. Embora, os achados de seu estudo tenham sido relevantes para a área, a falta de interação entre a tarefa de direção de automóvel e o motorista é um aspecto que deve ser considerado.

Grande parte dos estudos presentes na literatura científica que envolvem carga de trabalho mental utilizam métodos subjetivos (e.x., NASA-TLX, Escala MCH, RSME e SWAT) para estimar a carga de trabalho mental de seus participantes. Isso pode ser justificado devido a aplicabilidade desses métodos em comparação aos métodos fisiológicos (e.x., eletroencefalografia, eletrocardiografia, atividade eletrodérmica e rastreamento dos movimentos dos olhos). Por exemplo, o questionário NASA-TLX é validado e amplamente utilizado na literatura científica (Chen, 2022; Harbluk et al., 2007; Horrey et al., 2017; Hughes et al., 2013; Niezgodá et al., 2015; Peysakhovich et al., 2015; Sterkenburg, 2020; Strayer et al., 2015; Wu et al., 2025), devido a avaliação multidimensional da carga de trabalho mental. Adicionalmente, estudos anteriores mostraram uma relação consistente entre o esforço mental e o diâmetro da pupila (Beatty, 1982). Carizio et al. (2021) e Barakat et al. (2015), em um contexto da tarefa de direção de automóvel, mostraram que o diâmetro da pupila é um indicador

confiável para mensurar a carga de trabalho mental durante a realização de tarefas concorrentes. Dessa forma, o presente estudo tem como foco (i) analisar se uma tarefa secundária de indução de imagens mentais afeta o comportamento do olhar e o desempenho da direção de motoristas experientes e novatos em um contexto de direção simulada e, (ii) mensurar a carga de trabalho mental dos motoristas através de um método de pupilometria.

1.1.Objetivos do trabalho

Este trabalho teve como objetivo primário investigar os efeitos de uma tarefa de indução de imagens mentais sobre a exploração visual, indicado pela variância das fixações no eixo horizontal, em motoristas experientes e novatos durante a condução simulada de automóvel em distintas situações de perigo. E como objetivo secundário, mensurar, através do método pupilométrico proposto por Klingner (2010a, 2010b), a carga de trabalho mental de uma tarefa de indução de imagens mentais em motoristas experientes e novatos durante a condução de automóvel em distintas situações de perigo.

1.2.Hipóteses do trabalho

Para o presente estudo, foram formuladas as seguintes hipóteses:

- (i) o comportamento do olhar, a carga de trabalho mental e o controle lateral do carro, indicados, respectivamente, pela variância das posições horizontais das fixações, diâmetro da pupila e variabilidade da posição lateral do veículo, serão negativamente afetados pela tarefa secundária de indução de imagens mentais, mostrando fixações mais concentradas, um maior diâmetro da pupila e uma maior oscilação lateral do veículo na condição Com Tarefa Secundária comparado a condição Sem Tarefa Secundária (Carizio et al., 2021; Niezgoda et al., 2015; Briggs et al., 2016);
- (ii) o comportamento do olhar, indicado pela variância das posições horizontais das fixações, não será afetado pelos tipos de perigo apresentados, mostrando variâncias das posições horizontais das fixações semelhantes independentemente do tipo de perigo (Briggs et al., 2016);
- (iii) a dilatação da pupila, designada pela amplitude máxima da curva da pupila (PICO), será maior para o grupo de motoristas novatos comparado ao grupo de motoristas experientes (Carizio et al., 2021).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Carga de trabalho mental

O termo carga de trabalho mental pode ser entendido como o resultado de uma relação tríade entre a capacidade mental do indivíduo, a demanda de uma determinada tarefa e o desempenho do indivíduo nessa tarefa (Silva, 2023). Diante disso, a carga de trabalho mental pode ser considerada como um indicador do uso desses recursos cognitivos durante a execução de tarefas, logo quanto maior a carga de trabalho mental maior a demanda da tarefa pelos recursos cognitivos.

Os modelos sobre carga de trabalho mental podem ser divididos em dois grupos: modelos estruturais de recursos atencionais (Kahneman, 1973; Wickens, 2002, 2008) e modelos estruturais de recursos energéticos (Mulder, 1986; Hockey). O primeiro modelo estabelece que os chamados recursos atencionais são recursos limitados e podem ser alocados em um único ou múltiplos canais sensoriais, permitindo assim a realização de uma ou várias tarefas ao mesmo tempo. O segundo modelo estabelece que o sistema de alocação desses recursos é trifásico e dinâmico, o que permite o ajuste da demanda pelos recursos conforme a dificuldade da tarefa. Embora, Kahneman (1973) e Wickens (2002, 2008) adotem o modelo de recursos atencionais, suas teorias se diferem no modo como esses recursos são disponibilizados: por meio de um canal sensorial único (Kahneman, 1973) ou por meio de canais sensoriais especializados (Wickens, 2002; 2008). Independentemente do modelo, um aumento da demanda pelos recursos atencionais ou energéticos pode levar à redução do desempenho da tarefa, e em casos de tarefas executadas simultaneamente, pode haver uma maior interferência na tarefa principal, reduzindo o desempenho de uma ou ambas as tarefas.

2.1.1. Teoria dos Múltiplos Recursos

Diferentemente de Kahneman (1973), Wickens (2002, 2008) propõe que os recursos atencionais demandados durante uma determinada tarefa são alocados em funções específicas. Para o autor, o corpo humano possui múltiplos “reservatórios”, cada um referente a uma função específica que deve ser desempenhada. A alocação dos recursos atencionais nesses “reservatórios” varia conforme a tarefa executada (*e.x.* dirigir um automóvel, falar ao celular). A teoria dos múltiplos recursos estabelece três aspectos condicionais que devem ser atendidos para a adequada execução de tarefas concorrentes. São eles: (i) Modalidade sensorial, que se refere ao canal de entrada da informação sensorial (visual ou auditiva); (ii) Código de processamento, que se refere ao formato em que a informação é processada e mantida na

memória de trabalho (espacial ou verbal); (iii) Resposta, que se refere ao canal de saída da resposta (manual ou vocal). Dessa forma, a interferência entre as tarefas é reduzida, pois diferentes tarefas possuem aspectos distintos entre si. Nessa teoria, a interferência ocorre quando diferentes tarefas possuem os mesmos aspectos. Para exemplificar, a direção de automóvel envolve uma entrada visual, um código de processamento espacial e uma resposta manual, enquanto uma conversa ao telefone celular envolve uma entrada auditiva, um código de processamento verbal e uma resposta vocal. Teoricamente, como os aspectos das tarefas são diferentes, a interferência entre elas é baixa. Por outro lado, se a tarefa secundária (falar ao telefone celular) fosse substituída por uma tarefa de indução de imagens mentais, os aspectos dessa tarefa mudariam e haveria mais interferência, visto que essa tarefa exige uma entrada auditiva, um código de processamento espacial e uma resposta vocal. Nesse caso, devido ao código de processamento usado ser o mesmo (espacial), esse tipo de tarefa causaria uma maior interferência na direção de automóvel.

As implicações da teoria dos múltiplos recursos em cenários de tarefa única ou dupla são inúmeras. No entanto, sua aplicação a cenários de tarefas dupla pode ser limitado, uma vez que na literatura científica mostra consistentemente uma redução no desempenho da direção quando motoristas realizam tarefas duplas, especialmente com o uso do telefone celular (Andrade e Antunes, 2020; Desmet e Diependaele, 2019; Harbluk et al. 2007; Huemer et al. 2018; Huemer e Vollrath 2011; Patten et al. 2004; Stavrinou et al. 2013; Strayer et al. 2015; Metz et al. 2015; Li et al. 2021).

2.1.2. Estudos sobre indução de imagens mentais

São escassos os estudos disponíveis na literatura científica que utilizem tarefas de indução de imagens mentais, principalmente como tarefas secundárias. Ao nosso conhecimento, o estudo de Kerr (1993) foi o primeiro a utilizar especificamente essa tarefa de indução mental (matriz 3x3 com quadrado azul ao centro). Seu estudo teve como objetivo testar a velocidade ideal para realizar tarefas de indução de imagens mentais nas proporções bidimensionais e tridimensionais, e examinar as restrições de tempo (auto-ditada, 0,5 segundos, 1 segundo) no processamento das dimensões dessas duas imagens (2D e 3D). No total, 89 adultos jovens participaram dos cinco experimentos propostos por Kerr (1993); os participantes eram solicitados a imaginar matrizes simétricas e rastrear mentalmente um caminho entre elas conforme as direções de movimento dadas verbalmente. Os resultados mostraram que o processamento de imagens mentais em três dimensões exigiu mais tempo em comparação às imagens em duas dimensões. Briggs et al. (2016) investigaram os efeitos da distração induzida

por imagens mentais na percepção de perigo e nos movimentos oculares em dois experimentos de simulação de direção. No total, 106 adultos jovens participaram dos dois experimentos propostos por Briggs et al. (2016). No Experimento 1, os participantes foram instruídos a visualizar dois filmes de 7 minutos de situações de direção e reagir a sete eventos perigosos, pisando no pedal do freio (definido como tarefa principal), enquanto a tarefa secundária envolvia a verificação verbal de declarações "verdadeiro" ou "falso". Para o Experimento 2, foram montados dois grupos (Com tarefa dupla, Sem tarefa dupla); os participantes foram instruídos a assistir 16 clipes de cenas de direção (oito contendo perigos—quatro centrais, quatro periféricos—e oito sem perigos). Enquanto o outro grupo realizou simultaneamente uma tarefa secundária de indução de imagens mentais (matriz 3x3 com quadrado azul ao centro). Os resultados mostraram que a tarefa de indução de imagens mentais levou os motoristas ao tunelamento cognitivo e visual e ao desempenho de direção deteriorado. A conversa telefônica interferiu no desempenho da direção, visto que as duas tarefas competiram pelos mesmos recursos de processamento, devido aos aspectos de evocação de imagens do uso do telefone, não corroborando a teoria dos múltiplos recursos (Wickens, 2002; 2008). Korda et al. (2023) investigou os efeitos de diferentes demandas de tarefas internas (aritmética e visuoespacial) e da carga de trabalho (baixa e alta) no movimento ocular de perseguição suave. Seus resultados mostraram que uma maior carga de trabalho resultou em menor desempenho na tarefa interna e maior dilatação pupilar. A dilatação pupilar refletiu consistentemente as condições de carga de trabalho ao longo do tempo. Embora haja evidências de um aumento gradual do desacoplamento perceptual com o aumento das demandas internas para a tarefa aritmética, o desempenho do movimento ocular de perseguição suave foi claramente prejudicado pelas tarefas internas em comparação a condição controle.

No mesmo sentido, Walcher et al. (2023) investigaram se o efeito de dissociação perceptual em sacadas voluntárias é moderado pelo tipo de tarefa (aritmética vs. visuoespacial) e/ou pela carga de trabalho da tarefa interna. Quarenta e nove adultos jovens participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a realizar duas tarefas simultâneas: uma tarefa externa que exigia que fizessem uma sacada para um alvo e ignorassem um distrator, enquanto a tarefa interna exigia a realização repetida de uma operação mental (tarefa aritmética, tarefa visuoespacial). Os resultados mostraram que as tarefas internas causam dissociação perceptual, afetando a latência das sacadas voluntárias. Os autores argumentam que a tarefa visuoespacial, que exige recursos espaciais, prejudicou o planejamento e execução dos movimentos oculares voluntários por utilizar recursos que se sobrepõem, enquanto a interferência causada pela tarefa

aritmética ocorre através dos mecanismos de execução de respostas. Walcher et al. (2024) propuseram-se a identificar as características e os fatores moderadores dos movimentos oculares acoplados internamente para entender melhor seus mecanismos subjacentes. O acoplamento interno dos movimentos dos olhos refere-se ao fenômeno em que representações mentais e processos internos acionam ou afetam o comportamento ocular. Especificamente, investigar como a carga de trabalho, a disponibilidade de referência espacial e a direção do movimento imaginado influenciam o acoplamento interno de movimentos oculares na memória de trabalho visuoespacial. Cinquenta adultos jovens participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a realizar uma tarefa de memória de trabalho visuoespacial, na qual deveriam mentalmente seguir um quadrado preto ao centro de uma matriz 3x3, seguindo direções de movimento (cima, baixo, esquerda, direita). Os resultados mostraram que o acoplamento interno dos movimentos oculares é um resultado natural para onde a atenção é dirigida dentro de representações mentais, e não meramente um esforço estratégico para reduzir a carga de trabalho. Além disso, o acoplamento de sacadas foi desencadeado primariamente pela memória de trabalho visuoespacial e não apenas pelo processamento de comandos de áudio ou semânticos.

O estudo de Recarte e Nunes (2000) investigou os efeitos de tarefa de indução de imagens mentais, mas utilizando uma tarefa diferente à tarefa proposta por Kerr (1993). Recarte e Nunes (2000) analisaram as consequências da realização de tarefas concorrentes, sejam elas verbais ou de imagens espaciais, no padrão de fixações oculares e no comportamento de busca visual durante a direção real. Doze motoristas adultos jovens participaram do estudo. Os participantes dirigiram em condições de tráfego real, sendo instruídos a realizar uma tarefa de direção de automóvel sem a presença de uma tarefa secundária, direção com tarefa verbal (gerar palavras começando com uma letra) e direção com tarefa de imagens mentais (imaginar e manipular letras do alfabeto, como rotação vertical ou horizontal). Os resultados mostraram que a realização de tarefas mentais, especialmente aquelas que exigem recursos de imagens espaciais, afetou o comportamento de busca visual durante a direção. Adicionalmente, o aumento da carga de trabalho atencional levou os motoristas a estreitamento do campo funcional visual, o que, por sua vez, reduziu olhares para fontes de informação periféricas, como espelhos e velocímetro.

Em resumo, os estudos citados acima mostram os efeitos deletérios da tarefa de indução de imagens mentais sobre o comportamento do olhar, a dilatação da pupila e o desempenho na direção. Embora, esses efeitos sejam mostrados, somente os estudos de Recarte e Nunes (2000)

e Briggs et al. (2016) aplicaram tarefa de indução de imagens mentais durante a direção de automóvel.

2.2.Pupilometria

A carga de trabalho mental pode ser inferida por meio de três diferentes modalidades: medidas subjetivas, medidas fisiológicas e desempenho comportamental (Huang et al., 2024).

As medidas subjetivas correspondem a avaliações autorrelatadas, em que os participantes devem responder sobre sua percepção de esforço mental durante a tarefa proposta. Um dos principais questionários sobre carga de trabalho mental é o questionário NASA Task Load Index (Huang et al., 2024), sua frequência de utilização se deve aos seis fatores multidimensionais abordados pelo questionário (demanda mental, física, temporal, desempenho, nível de frustração e esforço). Todos esses fatores são utilizados para compor o índice final da carga de trabalho mental. Em seu estudo, Silva (2023) mostra outros questionários que também são utilizados para a mesma finalidade, mas destaca que a frequência de utilização desses é menor comparada ao questionário NASA-TLX “*NASA Task Load Index*”. Alguns desses questionários são: Escala MCH - “*Modified Cooper Harper*”; RSME “*Rating Scale Mental Effort*”; “*Subjective Workload SWAT-Assessment Technique*”.

As medidas fisiológicas correspondem a respostas do corpo humano à carga de trabalho mental, são elas: eletroencefalografia (Almogbel et al., 2018), eletrocardiografia (Tao et al., 2019), atividade eletrodérmica (Charles e Nixon, 2019) e rastreamento dos movimentos dos olhos (Foy e Chapman, 2018; Faure et al., 2016). As medidas de desempenho comportamental correspondem ao desempenho referente a tarefa proposta, como desempenho na direção de automóvel (Butmee et al., 2018; Huang et al., 2024) e desempenho na tarefa secundária (Huang et al., 2024).

A carga de trabalho mental pode ser mensurada por meio do rastreamento dos movimentos dos olhos (Huang et al., 2024), especificamente diâmetro da pupila. Isso ocorre porque o diâmetro da pupila é afetado diretamente por processos fisiológicos associados a estímulos emocionalmente salientes, situações de dor e eventos inesperados. Beatty (1982) mostrou que as respostas pupilares são capazes de refletir as variações, em nível cognitivo, das demandas evocadas por diferentes tarefas e variações interindividuais na carga de trabalho mental. O registro temporal do diâmetro da pupila, técnica chamada de pupilometria, permite inferir, de maneira não-invasiva, a carga de trabalho mental de indivíduos sobre distintas demandas de tarefas, diferentemente dos outros métodos apresentados anteriormente. Silva

(2023) mostra diferentes tipos de técnicas de pupilometria, no enquanto para o presente trabalho, daremos foco somente no método de Média da Resposta Pupilar alinhada à Fixação, proposto por Klingner (2010a; 2010b).

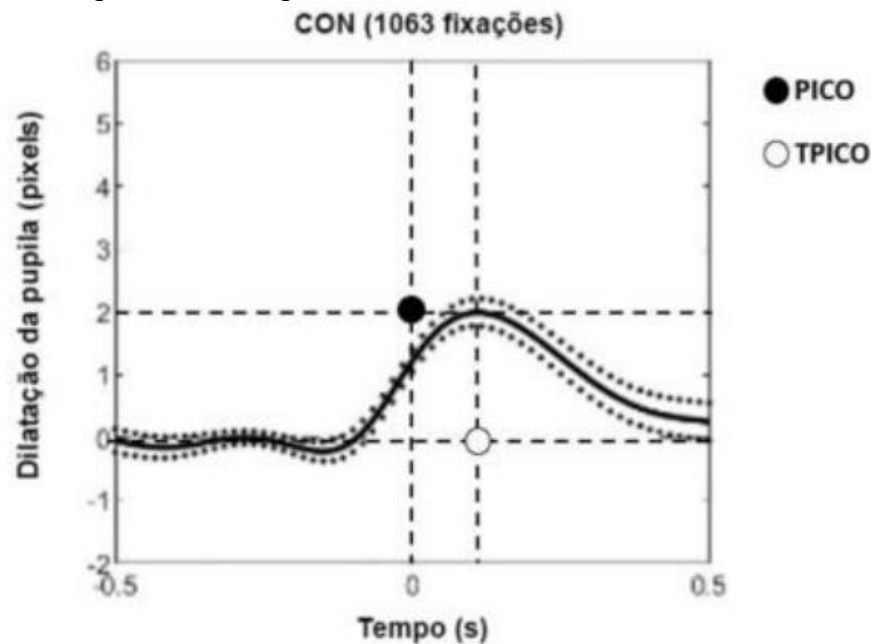
2.2.1. Média da Resposta Pupilar alinhada à Fixação

O método pupilométrico de Média da Resposta Pupilar alinhada à Fixação, proposto por Klingner (2010a, 2010b), busca inferir a carga de trabalho mental de tarefas que necessitam de mudanças rápidas no foco atencional (Silva, 2023). Como as fixações oculares indicam pontos de interesse visual do indivíduo, ao se alinhar o diâmetro da pupila ao período de ocorrência dessas fixações, é possível aplicar o método de Klingner (2010a, 2010b) em tarefas com maior complexidade e com maior tempo de duração.

Como a variação do diâmetro da pupila é menor que 0,5 milímetros, torna-se uma tarefa ainda mais complexa inferir a carga de trabalho mental de um indivíduo durante um determinado período. A alternativa foi medir o diâmetro da pupila em pequenos períodos e, a partir de diversas repetições da tarefa, alinhar os intervalos de tempo respectivos ao momento em que ocorre a dilatação pupilar em resposta a uma tarefa, resultando no cálculo da média do diâmetro da pupila (Silva, 2023). Como descrito por Silva (2023), diferentemente de outros métodos de pupilometria, o cálculo da média preserva os componentes que produzem o tamanho do sinal que está correlacionado à tarefa que ativa a resposta fisiológica da pupila.

Resumidamente, antes de realizar o cálculo da média do diâmetro da pupila, as fixações oculares são alinhadas em um mesmo período (e.g. um segundo anterior ao início da fixação e dois segundos posterior ao início da fixação), possibilitando a visualização do diâmetro da pupila no tempo. Após isso, define-se o período que as tarefas ocorreram, e ao final realiza-se o cálculo da média do diâmetro da pupila (Figura 1). Adicionalmente, o método proposto por Klingner (2010a, 2010b) também permite o cálculo da média do ruído presente no sinal da pupila, devendo ser distinta do ruído.

Figura 1 - Dados ilustrativos da curva média ($\pm$ erro padrão) da dilatação da pupila 500 ms antes e 500 ms após o início de cada fixação; neste exemplo, a curva média resultou de 1063 curvas (uma a cada fixação, acumulando as tentativas de todos os participantes). O valor zero no eixo horizontal (Tempo) representa o instante do início de cada fixação; o valor zero no eixo vertical (Dilatação da pupila) representa a referência de tamanho da pupila no início da fixação - linha de base, com valores positivos sendo interpretados como dilatação da pupila e negativos como constrição da pupila. A amplitude máxima da curva (PICO) e seu respectivo tempo (TPICO) estão representados, respectivamente, pelo círculo cheio e círculo vazio.



Fonte: Carizio et al. (2021).

2.3. Condução de Automóveis

A condução de automóveis pode ser considerada como uma tarefa perceptivo-motora, pois requer a integração entre as informações visuais e respostas motoras realizadas através da sincronização do volante, câmbio e pedais. Essa integração pode exigir um maior esforço mental, especialmente em motoristas novatos (Van Leeuwen et al., 2015), comprometendo o comportamento do olhar e desempenho na direção. Van Leeuwen et al. (2015) mostraram que motoristas novatos possuem uma varredura visual restrita ao centro e maior desvio lateral do veículo. Os autores sugerem que esses efeitos são derivados da não-automatização da tarefa de direção, o que gerou um maior esforço mental dos motoristas novatos.

Tarefas concorrentes, ou seja, tarefas distintas executadas simultaneamente, podem gerar efeitos deletérios ao comportamento do olhar e ao desempenho da direção (Chen et al. 2022; Desmet e Diependaele, 2019; Li et al., 2018; Van Wisum, 2018; Recarte e Nunes, 2002; Sterkenburg et al., 2020; Wu et al., 2024; Stravinos, 2013). A literatura científica sobre tarefas concorrentes mostra que a tarefa de direção é definida como tarefa principal, visto as exigências

perceptuais e motoras para sua execução, enquanto tarefas secundárias podem ser definidas como tarefas que desviam os recursos atencionais da tarefa principal (Land, 2016; Wickens, 2008).

2.3.1. Tarefas Concorrentes e Comportamento do Olhar

Estudos, como Chen (2022), Desmet e Diependaele (2019) e Li et al. (2018) mostram os efeitos de uma tarefa concorrente durante a condução de automóvel sobre o comportamento do olhar de motoristas. Seus achados indicam uma redução da atenção visual aos estímulos da pista, alargamento do campo visual e maior concentração do olhar durante as tarefas concorrentes. Briggs et al. (2016) mostram um tunelamento cognitivo e visual dos motoristas durante tarefas concorrentes, especificamente para tarefas de indução de imagens mentais.

Chen (2022) analisou e comparou as características de risco da distração causada por sistema de infoentretenimento em motoristas de táxi, e como esses impactos podem ser mitigados ou não pela experiência de direção. Além disso, o estudo também investiga o desempenho da direção e a carga de trabalho associada a diferentes tipos de distração (visual, não-visual). Cinquenta e um adultos jovens, motoristas de táxi participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a realizar um experimento em simulador de direção. Os resultados mostraram que o impacto de segurança da distração visual é considerado mais forte do que a distração auditiva, corroborando o efeito de modalidade da teoria de múltiplos recursos (Wickens, 2002, 2008). Distrações visuais podem ter um impacto mais forte no tempo de reação de frenagem devido à sua maior similaridade de modalidade com estímulos de eventos-chave. Além disso, as distrações visuais desviaram a atenção visual da estrada, levando a maior tempo com os olhos fora da estrada e redução no desempenho de direção. Desmet e Diependaele (2019) examinaram os efeitos do uso do telefone celular no modo viva-voz nos padrões de movimento ocular durante a direção de automóvel. O estudo também investigou a atenção visual durante conversas naturalísticas durante o modo viva-voz para analisar o efeito da distração cognitiva. Trinta motoristas participaram do estudo. Os participantes realizaram duas viagens consecutivas em uma autoestrada de aproximadamente 14 km. Os participantes realizaram duas condições experimentais (dirigir enquanto realiza uma chamada telefônica, dirigir sem realizar uma chamada telefônica). A conversação no modo viva-voz fez com que os motoristas fixassem menos informações cruciais relacionadas ao tráfego (sinais e velocímetro). O comportamento do olhar foi menos determinado pela tarefa de direção durante a conversação em modo viva-voz. Sugere-se que o alargamento do campo visual observado pode ser um reflexo de uma estratégia automática de compensação de risco, onde os motoristas adotaram

uma estratégia de monitoramento visual mais genérica, contrariando o entendimento do tunelamento visual. Li et al. (2018) investigaram a causa da melhoria na manutenção de faixa observada durante a carga cognitiva, testando diretamente se esse fenômeno é causado pelo aumento do esforço físico, pela concentração do olhar em direção ao centro da estrada ou ambos. Vinte e sete motoristas participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a dirigir um automóvel em um simulador de direção, e manter-se o máximo possível no centro da pista, enquanto realizavam uma tarefa n-back com quatro tipos de carga (controle, 0-back, 1-back, 2-back). Os resultados mostraram que o aumento do esforço físico, da concentração do olhar e da atividade de micro-direção (pequenos ajustes no volante realizados pelo motorista para manter-se no centro da pista) levaram a melhora da manutenção de faixa. Em termos de ordem, o início da tarefa cognitiva, especificamente da tarefa 2-back, levou a um aumento imediato na concentração do olhar em direção ao centro da pista e no esforço físico, seguido por uma mudança mais gradual na atividade micro-direcional.

2.3.2. Tarefas Concorrentes e Carga de Trabalho Mental

Estudos, como Briggs et al. (2011) e Jayawardena et al. (2022), mostram os efeitos de tarefas concorrentes sobre a carga de trabalho mental, indicando a dilatação da pupila como uma métrica confiável para inferir a carga de trabalho mental (Jayawardena et al., 2022; Carizio et al., 2021). Tarefas concorrentes, como dirigir um automóvel e falar ao telefone celular, podem levar a aumento do esforço mental dos motoristas, afunilando assim o campo visual e a percepção à estímulos periféricos (Briggs et al., 2011).

Briggs et al. (2011) examinou os efeitos de variar o nível de envolvimento emocional dos participantes em uma conversa telefônica no desempenho da direção. Vinte e seis motoristas adultos jovens foram divididos em dois grupos (com e sem fobia de aranhas) participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a realizar uma tarefa de direção simulada enquanto conversava ao telefone (sem distração pelo telefone, com distração pelo telefone) sobre o assunto de aranhas. Os resultados mostraram que o tipo de conversa teve um efeito significativo no desempenho do motorista. Quanto mais emocionalmente envolvidos na conversa os participantes estiveram, maiores foram os potenciais de distração. Indivíduos fóbicos demonstraram carga de trabalho mental significativamente maior, mais erros de direção e padrões de tunelamento visual mais pronunciados. Esse tunelamento e o aumento da carga de trabalho mental sugerem que o envolvimento emocional limita o processamento sensorial. Jayawardena et al. (2022) redesenharam o método pupilométrico “Low/High Index of Pupillary Activity” (LHIPA) para funcionar em tempo real, criando o “Real-time IPA” (RIPA). Os autores

reanalísaram dados de experimentos anteriores para validar o funcionamento do método RIPA como um índice de carga cognitiva em tempo real. Diferentemente do LHIPA, o RIPA possui a capacidade de operar em tempo real como um indicador objetivo e contínuo da carga de trabalho mental. Dezoito adultos jovens participaram do estudo. O estudo utilizou dados de uma tarefa de memória de trabalho (*n-back*), onde os participantes deveriam realizar a tarefa respondendo se a letra atual era a mesma que 1 ou 2 tentativas anteriores. Foram realizadas três condições de tarefa cognitiva (controle, 1-back, 2-back). Semelhantemente aos resultados obtidos com o LHIPA, o RIPA mostrou uma resposta significativamente maior durante a execução das tarefas *n-back* em comparação com o controle, sendo a resposta RIPA maior na tarefa 2-back comparado a tarefa 1-back. Os resultados mostraram que o RIPA é uma métrica objetiva baseada no olhar que discrimina com sucesso a carga cognitiva, sendo sensível às variações de dificuldade da tarefa e à exaustão cognitiva ao longo do tempo.

2.3.3. Tarefas Concorrentes e Condução de Automóvel

Estudos como os de Recarte e Nunes (2002), Sterkenburg et al. (2020), Wu et al. (2024) e Stavrinou (2013) mostram os efeitos de tarefas concorrentes sobre o desempenho da direção. Seus achados indicam que o desempenho da direção foi reduzido quando tarefas concorrentes foram realizadas, resultando em redução do controle da velocidade, maior variabilidade da velocidade do veículo e maior tempo para tomada de decisão.

Recarte e Nunes (2002) analisaram as relações entre atenção e controle de velocidade. Doze adultos jovens com experiência para dirigir participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a dirigir um automóvel em uma situação real (autoestrada). Foram realizadas 6 condições experimentais: acessibilidade do velocímetro (visível/oculto), instruções de controle de velocidade (livre/restrita entre 90 e 100 km/h), estados de carga de trabalho (direção normal/tarefa mental). A tarefa mental consistiu em 23 tarefas cognitivas variadas (cálculo mental, aquisição de informações, produção verbal ou espacial, conversas triviais) realizadas em intervalos de 1 minuto. Os resultados mostraram que a velocidade média geral não foi significativamente afetada pela tarefa mental, mas na condição de velocidade restrita, a tarefa mental produziu um incremento na velocidade, independentemente da disponibilidade do velocímetro. Os autores argumentam que quando o motorista está sob carga mental aumentada (tarefa secundária), o controle ativo da velocidade (necessário sob restrições) é prejudicado, e a velocidade do veículo retorna ao nível preferido não regulado do motorista. O controle de velocidade com limites exige recursos atencionais adicionais, refletidos no aumento da inspeção do velocímetro, e a tarefa mental desvia esses recursos. Sterkenburg et al. (2020)

comparou o impacto relativo da distração física (visual-biomecânica), distração cognitiva (cognitiva-auditiva) e os efeitos da emoção de raiva no desempenho de direção. Setenta e oito adultos jovens foram divididos em 4 grupos (Distração Física n=18, Distração Cognitiva n=17, Raiva n=25, Controle n=18). Os participantes foram instruídos a dirigir um automóvel em simulador de direção. As tarefas secundárias (físicas ou cognitivas) foram realizadas em janelas de tempo específicas em torno de 9 eventos perigosos. A tarefa física era digitar um código de 3 dígitos, e a tarefa cognitiva era a contagem regressiva em passos de 7. Além disso, houve um procedimento de indução emocional (neutra ou raiva) antes da direção. Os resultados mostraram que os participantes com raiva apresentaram numericamente maior aceleração máxima em um perigo e menor força média de frenagem em outro. A raiva degrada o desempenho de direção tanto ou mais do que outros tipos de distração, especialmente em situações que exigem uma tomada de decisão rápida (como no semáforo amarelo ou ao reagir a um carro que entra na pista). Os dados sugerem que a raiva influencia a direção, pelo menos em parte, através da tomada de decisão (tendência a tomar decisões mais arriscadas), em vez de apenas prejudicar a consciência situacional.

Wu et al. (2024) analisaram e compararam as características de risco de várias distrações auditivo-cognitivas e visual-manuais comuns, bem como o efeito de fatores específicos do motorista individual (idade e gênero), para fornecer suporte de dados para o desenvolvimento de regulamentos de direção distraída. Trinta motoristas com idades entre 18 e 60 anos participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a seguir um carro líder, definido como tarefa principal. Foram categorizadas oito distrações classificadas em visuo-manual (ajustar ar-condicionado, navegação por digitação, enviar mensagens de voz, alcançar objeto) e auditivo-cognitiva (falar com passageiros, interação por voz, 1-Back, 2-Back, cantar). As distrações visuo-manuais prejudicaram significativamente o controle da faixa (aumento do risco de desvio) e resultaram em variações de velocidade significativamente maiores. As distrações auditivo-cognitivas tiveram pouco efeito na manutenção da faixa. Os resultados mostraram que o risco de distração variou significativamente com o tipo de tarefa e com os fatores demográficos. Distrações visuo-manuais (que envolvem desviar os olhos e as mãos) são o maior risco de perda de controle lateral (desvio de faixa). Distrações auditivo-cognitivas (como a tarefa 2-Back) apresentam maior risco de aceleração descontrolada (perda de controle de velocidade). Stavrinou (2013) examinou o impacto de distração na condução (celular, mensagens de texto) na segurança geral e no congestionamento do tráfego, sob condições de fluxo de tráfego variáveis (fluxo livre, estável e sobressaturação), em adolescentes e jovens

adultos. Setenta e cinco adultos jovens, classificados em motoristas novatos e experientes, participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a dirigir um automóvel em um simulador de direção. Os participantes dirigiram três vezes, cada vez com uma distração diferente apresentada aleatoriamente: Mensagens de Texto (*Texting*), Conversa ao Celular (*Cell phone*) e Não Distraído. Os resultados mostraram que a distração, em geral, teve um impacto negativo significativo no fluxo de tráfego, resultando em maior flutuação na velocidade e maior tempo para completar o cenário. Ainda, o envio de mensagens de texto (*texting*) foi a distração mais prejudicial, resultando em mais desvios de faixa e colisões em comparação com as outras condições. O envio de mensagens de texto foi a distração mais associada a erros de direção relacionados à segurança (colisões e desvios de faixa). A direção distraída (tanto celular quanto mensagens de texto) impacta negativamente os indicadores de fluxo de tráfego, aumentando a instabilidade da velocidade e o tempo de viagem.

2.3.4. Experiência e Condução de Automóvel

Estudos como Carizio et al. (2021) e Nowosielki et al. (2018) mostraram os efeitos da experiência dos motoristas sobre o desempenho da direção e carga de trabalho mental. Seus achados mostraram que motoristas experientes mostraram uma menor carga de trabalho mental, enquanto motoristas novatos tiveram uma maior carga de trabalho mental, indicada pelo diâmetro da pupila. Nowosielki et al. (2018) mostraram que os tempos de resposta em ambientes simples de direção foram mais rápidos se comparados aos dos ambientes complexos, principalmente para motoristas experientes.

Carizio et al. (2021) testou a adaptação e aplicação do método de média de resposta pupilar alinhada à fixação ao contexto da direção de automóvel. Adicionalmente, o estudo visou determinar os efeitos de falar ao celular (modo segurando o celular, modo viva-voz) e da experiência de direção nas respostas pupilares como indicador de carga de trabalho mental. Vinte adultos jovens foram divididos em dois grupos de motoristas (novatos, experientes). Os participantes foram instruídos a dirigir em um simulador sob três condições experimentais (controle, segurando o celular, modo viva-voz). Os resultados mostraram que a carga de trabalho mental imposto pela dupla-tarefa de falar ao celular aumento a dilatação pupilar apenas para os motoristas novatos. Motoristas experientes apresentaram menor carga de trabalho mental (valor máximo do diâmetro da pupila) e maior tempo para atingir o PICO (valor máximo do diâmetro da pupila), sugerindo que a carga de trabalho mental é modulada pela experiência. O aumento da dilatação pupilar em novatos indica uma maior demanda de processamento auditivo ou a evocação de imagens mentais durante a conversação, podendo prejudicar o

comportamento de direção e a aquisição de informações visuais. Nowosielki et al. (2018) investigaram os efeitos do *audiobook* sobre o desempenho de direção em ambientes de estrada simples, e identificar fatores individuais (função executiva, medida pelo Período de Operação, do inglês OSPAN) e ambientais (complexidade da estrada) que influenciam esse efeito. A OSPAN é uma tarefa utilizada para medir a memória de trabalho e a capacidade de alternância entre diferentes tarefas, por exemplo uma tarefa de memória mais uma tarefa de operação matemática. Trinta e oito adultos jovens participaram do estudo. Os participantes foram instruídos a dirigir um automóvel em um simulador de direção, em dois diferentes ambientes de direção (simples, complexo) e em duas diferentes níveis de distração (controle, audiobook). A direção de automóvel foi definida como tarefa principal. O tempo de resposta dos motoristas foram significativamente maiores no ambiente complexo. No ambiente de estrada simples, o *audiobook* levou a tempos de resposta significativamente mais rápidos do que a tarefa única. Embora, os resultados tenham mostrado tempos de resposta mais curtos em condições de tarefa dupla (direção mais audiobook), esses resultados foram mais proeminentes em motoristas experientes. Ainda assim, tarefas concorrentes em ambientes de direção complexo tendem a ser prejudiciais ao desempenho na direção.

3. MÉTODOS

3.1. Participantes

Vinte e seis adultos jovens (18 homens) com idades entre 18 e 40 anos participaram do estudo, todos motoristas devidamente habilitados. Os participantes foram divididos em dois grupos de motoristas, de motoristas novatos com 13 participantes (M= 29.23, DP= 4.44 anos de idade) e de motoristas experientes com 13 participantes (M= 20.38, DP= 2.36 anos de idade).

A experiência de direção dos participantes foi classificada através do questionário de Lehtonen *et. al.*, (2014). A partir desse questionário, um cálculo com base nas perguntas era realizado, resultando no total de quilômetros dirigidos por cada participante (Tabela 1). A partir do cálculo de experiência na direção, o participante era classificado em novato quando relatasse menos que 5.000 quilômetros rodados e experiente quando relatasse mais que 30.000 quilômetros rodados ao longo da vida. Todos os participantes possuíam visão normal ou corrigida para normal (óculos ou lente de contato). A acuidade visual foi considerada normal quando o resultado do Teste de Snellen resultou entre 20/20 e 20/30. Ainda, os participantes não possuíam nenhum déficit sensorio-motor e neurológico. A aprovação do comitê de ética local foi obtida, CAAE: 76956824.4.0000.5398, e os participantes assinaram o termo de consentimento informado antes de iniciar sua participação no estudo.

O cálculo da experiência dos motoristas foi baseado em Lehtonen et al. (2014), que quantifica a experiência dos motoristas com base no tempo de habilitação semanal, frequência da direção de automóvel, quantidade em quilômetros dirigidos em ruas urbanas e rodovias.

As questões para quantificação da experiência foram os seguintes:

- Q1 = "Há quanto tempo você dirige semanalmente?"
- Q2 = "Quantos dias por semana você costuma dirigir um carro?"
- Q3 = "Quantos quilômetros você costuma dirigir por dia?"
- Q4 = "Mensalmente, com que frequência você tem conduzido um carro na rodovia?"
- Q5 = "Quantos quilômetros você costuma dirigir durante uma viagem dessas?"

A equação para quantificação da experiência na direção foi a seguinte:

- $DE = [((Q2 * 4) * 12 * Q1 * Q3) + (Q4 * Q5)]$

Tabela 1 - Quantificação da experiência dos motoristas experientes e novatos pela média e desvio-padrão.

Grupos Experimentais	Quantificação da Experiência na Direção de Automóvel	
	Média (km)	Desvio-padrão
Motoristas Experientes	102.628,769 km	76.261,782
Motoristas Novatos	2.155,077 km	1.508,307

Fonte: Elaborado pelo autor.

O cálculo da experiência dos motoristas foi realizado através de um script específico em Python (versão 3.12.4) no ambiente de programação Visual Studio Code (marca Microsoft Corporation).

Tabela 2 - Descrição dos dados antropométricos (Idade, peso corporal, estatura) dos motoristas experientes e novatos pela média e desvio-padrão.

Grupos	Dados	Média	Desvio-padrão
Experimentais	Antropométricos		
Motoristas Experientes	Idade (anos)	29,23 anos	4,43
	Peso Corporal (kg)	73,56 kg	11,49
	Estatura (cm)	172,50 cm	5,62
Motoristas Novatos	Idade (anos)	20,38 anos	2,36
	Peso Corporal (kg)	67,03 kg	8,45
	Estatura (cm)	172,19 cm	8,11

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. Equipamentos e Softwares

Para o presente protocolo experimental foi utilizado o sistema de análise de movimento dos olhos (ASL, modelo H6 – Figura 2A) que registra a localização do olhar e o diâmetro da pupila dos motoristas durante a condução em simulador. Este sistema também possui um sensor magnético que registra a posição e orientação tridimensional da cabeça (Ascension, modelo Flock of Birds), possibilitando a integração dos dados cinemáticos do olhar e da cabeça (frequência de aquisição de 60 Hz). A tarefa de condução foi realizada no simulador de direção STISIM Drive M100 (versão 3.14.01) juntamente com alguns acessórios (volante, pedais e câmbio – Logitech G27, Figura 2B) para tornar a tarefa experimental mais realista. Para incrementar o protocolo experimental foi utilizado um cockpit (Extreme) com TV monitor (LED 46”) posicionado à frente do motorista. Um notebook (marca Dell, modelo Latitude 3440) e dois alto-falantes (marca Dell, modelo E1916H), estes posicionados à frente do

motorista, foram utilizados para fornecer as instruções auditivas aos motoristas (Figura 2C e 2D). Para a análise de dados, o software MatLab (The MathWorks Inc., 2023b) foi utilizado para cálculo das variáveis e o SPSS (SPSS Inc., 2008 – versão 17.0.1) para realizar as análises estatísticas necessárias.

Figura 2 - Rastreador dos movimentos dos olhos (A), simulador de direção com o cockpit e acessórios (B), painéis do experimentador (C), alto-falantes utilizado para evocar as instruções de movimento conectados via cabo USB com o notebook (D).



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi composto por 2 fatores: tarefa cognitiva, com dois níveis (Com, Sem) e perigo, com três níveis (Sem, Central, Periférico), totalizando 6 condições experimentais. Cada condição foi repetida quatro vezes, resultando em 24 tentativas por participante. Para evitar efeitos de aprendizado, a ordem das condições experimentais foi contrabalanceada.

3.3.1. Condições e Tarefas Experimentais

Cinco condições experimentais foram definidas, sendo divididas em 2 tipos:

- i. Condição de Tarefa Secundária (Com Tarefa Secundária, Sem Tarefa Secundária), nesta condição experimental, o participante realizaria ou não uma tarefa secundária de indução de imagens mentais enquanto realizava uma tarefa de condução de automóvel em um simulador.

- ii. Condição de Perigo (Cenários Sem Perigo, Cenários com Perigo Central, Cenários com Perigo Periférico), nesta condição experimental, diferentes eventos de perigo aconteceriam durante a tarefa de condução do automóvel no simulador. Na condição Sem Perigo, o participante deveria dirigir tranquilamente o automóvel no cenário de simulação. Na condição de Perigo Central, o participante deveria dirigir e reagir, o mais rápido possível, a freada inesperada do veículo a frente (veículo vermelho). Na condição Perigo Periférico, o participante deveria dirigir e reagir, o mais rápido possível, ao cruzamento de um pedestre ou cachorro à frente do seu veículo. Todos os participantes foram instruídos a evitar ao máximo colisões.

A combinação entre a condição de tarefa secundária e a condição de perigo, acrescido quatro vezes a repetição dessas combinações, resultaram em 24 tentativas por participante (Tabela 3).

Tabela 3 - Delineamento experimental – condição de tarefa cognitiva (Sem Tarefa Cognitiva, Com Tarefa Cognitiva), condição de perigo (Sem Perigo, Perigo Central, Perigo Periférico) e condição tentativa (1, 2, 3, 4).

	Sem Tarefa Cognitiva			Com Tarefa Cognitiva		
	Sem	Central	Periférico	Sem	Central	Periférico
Novatos	4	4	4	4	4	4

Experientes	tentativas	tentativas	tentativas	tentativas	tentativas	tentativas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram elaboradas duas tarefas experimentais:

- **Tarefa Principal:** Uma tarefa de direção onde o participante deveria conduzir um automóvel em um simulador de direção, reagindo ou não aos estímulos perigosos (Sem, Central, Periférico) apresentados no cenário. O participante foi instruído a seguir o veículo vermelho à frente, mantendo-se entre a velocidade de 50 e 60km/h, e evitando ao máximo cometer colisões e infrações de trânsito.

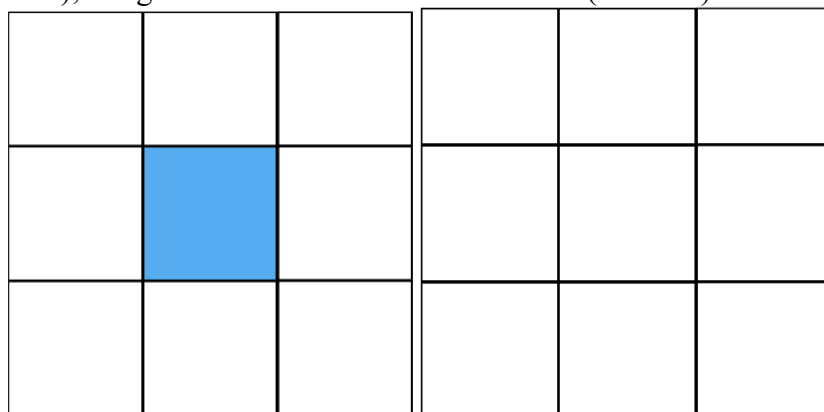
Figura 3 - Cenário da simulação de direção na condição Sem Perigo e Perigo Central (à esquerda). Cenário da simulação de direção na condição Perigo Periférico (à direita).



Fonte: Elaborado pelo autor

- Tarefa Secundária:** Uma tarefa secundária de indução de imagens mentais onde foi solicitado que o participante imaginasse uma matriz 3x3, possuindo um quadrado preenchido pela cor azul no centro da matriz (Kerr, 1993). Durante a tentativa, o participante foi instruído a mover mentalmente o quadrado azul pela matriz, conforme a instrução fornecida. Após a última instrução, o participante deveria informar ao experimentador em qual posição da matriz o quadrado azul terminou, indicando em um gabarito impresso. O movimento do quadrado azul foi induzido no participante por meio das instruções de movimento “acima”, “abaixo”, “direita” e “esquerda” apresentados por um áudio com intervalo de 4 segundos entre cada instrução. No total, cada áudio conteve 24 instruções de movimento randomizadas.

Figura 4 - Tarefa de indução de imagem mental no ponto inicial (quadrado azul no centro da matriz) (à esquerda); imagem mostrada ao final da tentativa (à direita).



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.Procedimento Experimental

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Informação, Visão e Ação (LIVIA), localizado no Departamento de Educação Física da UNESP – Bauru. Os participantes foram recebidos pelo experimentador e foram instruídos a ler atentamente e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Os participantes foram instruídos a preencher um formulário pré-coleta, após o preenchimento do formulário, o experimentador realizou a mensuração do peso e a estatura do participante através de uma balança Welmy, e a realizou o teste de Snellen para avaliação da acuidade visual. A tarefa experimental consistiu em dirigir um simulador de direção em diferentes condições de perigo (Perigo Central, Periférico e Sem perigo), realizando concomitantemente uma tarefa secundária (Com e Sem Tarefa Cognitiva). A tarefa principal foi realizada no simulador de direção, como especificado anteriormente. A tarefa secundária foi realizada concomitantemente a tarefa principal, as informações de movimento do quadrado azul foram fornecidas por meio de um áudio gravado, com um intervalo entre as informações de 4 segundos. As instruções do áudio foram randomizadas para evitar efeitos de ordem e aprendizagem. O protocolo experimental teve duração máxima de 2 horas, sendo realizadas ao total 24 tentativas para cada participante. A randomização das tentativas foi baseada no Latin Square Design. Ao finalizar a tarefa experimental, o participante foi instruído a responder o formulário pós-coleta, com objetivo de fazer uma avaliação sobre a dificuldade da tarefa cognitiva e o nível de realismo do simulador de direção.

3.5. Análise dos Dados

Os softwares MatLab (The Matworks Inc., versão 2023b) e Python (versão 3.12.7) foram utilizados para cálculo das variáveis e organização dos arquivos de dados.

3.5.1. Variáveis dependentes

As variáveis dependentes definidas para o presente estudo foram organizadas em:

- i. Movimento dos Olhos. Variável - variância das fixações no eixo horizontal (pixels²). A variância quantifica a dispersão dos pontos de fixações, nesse caso a dispersão horizontal dos pontos de fixação. Dependendo do valor da variância, ela pode indicar um foco visual concentrado (valor baixo) ou disperso (valor alto) do motorista durante a tarefa principal de direção (Briggs et al., 2016), visto que, de acordo com a literatura científica, as fixações oculares indicam pontos de interesse e indiretamente o foco atencional do participante (Mahanama et al., 2022).

Adicionalmente, reduções significativas na variância horizontal das fixações podem inferir um compartilhamento dos recursos atencionais entre duas tarefas concomitantes, o que se correlaciona com o aumento da carga de trabalho mental.

- ii. **Diâmetro da pupila.** Variável - diâmetro da pupila (pixels). O diâmetro da pupila é um índice fisiológico que pode indicar o esforço mental realizado pelo indivíduo durante uma determinada tarefa, tornando-se um indicador confiável para mensurar a carga de trabalho mental do indivíduo (Beatty, 1982). A pupilometria, técnica conhecida por registrar o diâmetro da pupila durante o tempo, permite inferir e quantificar a carga de trabalho mental demanda pela tarefa (Carizio et al. 2021). Variações no diâmetro da pupila permitem a inferência de flutuações na carga cognitiva imposta por uma determinada tarefa. Aumentos no diâmetro da pupila estão consistentemente relacionados a um maior esforço mental demandado pela tarefa em execução.
- iii. **Desempenho da direção.** Variáveis - desvio-padrão da posição lateral do veículo (metros) e da velocidade longitudinal (metros/segundo). A variabilidade da posição lateral reflete a consistência do veículo em manter uma trajetória lateral dentro de uma faixa (Kountouriotis et al., 2021); enquanto a variabilidade da velocidade longitudinal indica o controle na condução do automóvel no eixo longitudinal (Amini et al., 2023; Vlakveld et al., 2021). Aumento na variabilidade da posição lateral do veículo são classicamente interpretados como um indicador de decréscimo no desempenho da direção, podendo estar associados a diversos fatores, como fadiga, distração e presença de tarefa secundária. Enquanto aumento na variabilidade da velocidade podem inferir dificuldade em manter uma velocidade constante, devido a fatores como presença de uma tarefa secundária, engajamento em tarefas que desviam a atenção.

3.5.2. Diâmetro da Pupila e Movimento dos Olhos

Pré-processamento. Os dados brutos referentes ao diâmetro da pupila dos participantes foram obtidos através do sistema de rastreamento de movimentos dos olhos e cabeça (ASL, modelo H6 - frequência de 60 Hz), enquanto os dados referentes às fixações oculares foram gerados pelo software de análise ASL Results Plus. Cada fixação foi definida através da determinação de seu início e término. O início da fixação foi definido como duas vezes o desvio padrão da posição do olhar (intervalo de confiança de 95%) menor que um grau de ângulo visual (horizontal e vertical) durante 100 ms (sete pontos de dados) e o término da fixação como três

pontos de dados desviados do valor da fixação inicial por mais de um grau de ângulo visual (horizontal e vertical). Uma rotina específica escrita em ambiente Python realizou a organização dos arquivos de diâmetro da pupila e fixação, removendo todas as colunas de dados que não fossem necessárias para a análise de dados (Tabela 4). Ainda, os dados de diâmetro da pupila foram interpolados através do método de interpolação linear para as lacunas de dados que possuísem períodos de perda da pupila e piscadas (do inglês, *pupil loss* e *blinks*), com duração mínima de 0.1 segundos (número de amostra igual a 6 linhas) e máxima de 0.6 segundos (número de amostra igual a 36 linhas).

Tabela 4 - Descrição das colunas de interesse utilizadas para cálculo das variáveis dependentes.

Arquivo Origem	Colunas de Interesse	Descrição da coluna (unidade de medida)
Arquivo Olho	<i>time_secs</i>	Tempo relativo do arquivo (ms)
	<i>pupil_diam</i>	Diâmetro da pupila sem interpolação (pixels)
	<i>PDiam_Blinks</i>	Diâmetro da pupila interpolado (pixels)
	<i>Fix#</i>	Enumera as fixações (unidades)
Arquivo Fixações	<i>StartTime</i>	Tempo de início da fixação (ms)
	<i>Duration</i>	Duração da fixação (ms)
	<i>HorzPos</i>	Posição horizontal da fixação (pixels)
	<i>VertPos</i>	Posição vertical da fixação (pixels)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Processamento – Variância das fixações no eixo horizontal. Os dados referentes as fixações oculares dos participantes foram utilizadas nessa análise. Uma rotina específica escrita em ambiente MatLab calculou a variância da posição horizontal das fixações de cada tentativa, oriundos das cinco condições experimentais dos grupos experientes e de novatos.

Processamento - Pupilometria. Os dados brutos referentes ao diâmetro da pupila dos participantes foram combinados aos dados referentes às fixações oculares. Uma rotina específica escrita em ambiente Matlab aplicou o método de média da resposta pupilar através do alinhamento temporal ao início das fixações, conforme proposto por Klingner (2010a, 2010b). Os dados do diâmetro da pupila ao longo do tempo de cada tentativa, oriundos das cinco condições experimentais dos grupos de experientes e de novatos, foram selecionados com base no tempo de início de cada fixação detectada na respectiva tentativa, do seguinte modo: entre 500 ms antes do início da fixação e 500 ms após o início da fixação. Os dados do diâmetro da pupila selecionados de cada curva possibilitaram o cálculo de uma curva média da tentativa

(e respectivos valores de erro padrão a cada ponto de dado); o número de curvas em cada condição foi equivalente ao número de fixações observadas naquela condição. Para cada curva de valores do diâmetro da pupila (relativa a cada fixação) foi estabelecida uma linha de base através do cálculo da média no período de 500 ms anteriores ao início da fixação; esta média foi subtraída de todos os valores da respectiva curva.

3.5.3. Desempenho da Direção

Pré-processamento. Os dados referentes ao desempenho da direção dos participantes foram obtidos através do simulador de direção (STISIM Drive, versão M100 - frequência de 30 Hz). Após a coleta, os dados foram exportados utilizando a ferramenta Redução de Dados (do inglês, Data Reduction) presente no software do simulador. Com essa ferramenta, os arquivos de dados dos participantes foram limpos, removendo todas as informações que não fossem referentes as colunas de dados que representassem desempenho da direção (Tabela 5). Cada arquivo de dados correspondeu a uma tentativa, o que totalizou 24 arquivos de dados por participante.

Tabela 5 - Descrição das colunas de interesse utilizadas para cálculo das variáveis dependentes.

Arquivo Origem	Colunas de Interesse	Descrição da coluna (unidade de medida)
Arquivo	<i>Lateral position</i>	Posição lateral do veículo (m)
Direção	<i>Longitudinal velocity</i>	Velocidade longitudinal do veículo (m/s)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Processamento – Variabilidade da posição lateral e da velocidade longitudinal do veículo. Os dados referentes a posição lateral do veículo na pista foram utilizados nessa análise. Uma rotina específica escrita em ambiente Python calculou o desvio-padrão da posição lateral do veículo de cada tentativa, oriundos das cinco condições experimentais dos grupos experientes e novatos.

Processamento – Variabilidade da velocidade longitudinal do veículo. Os dados referentes a velocidade longitudinal do veículo foram utilizados nessa análise. Uma rotina específica escrita em ambiente Python calculou o desvio-padrão da velocidade longitudinal do veículo de cada tentativa, oriundos das cinco condições experimentais dos grupos experientes e novatos.

3.5.4. Desempenho do Motorista

Tabela 6 - Descrição das colunas de interesse utilizadas para cálculo das variáveis dependentes.

Arquivo Origem	Colunas de Interesse	Descrição da coluna (unidade de medida)
Planilha com dados dos participantes	Erros na tarefa cognitiva Número de colisões	Erros cometidos na tarefa secundária (unidades) Quantidade de colisões cometidas (unidades)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Processamento – Erros da tarefa secundária. A quantidade de erros na tarefa de indução de imagens mentais, ou seja, quando o participante errava o último local que o quadrado azul parou, foram contabilizados.

Processamento – Número de colisões. A quantidade de colisões envolvendo o veículo e os eventos de perigo foram contabilizados.

3.6. Análise Estatística

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) de Grupo (Experientes, Novatos) por Tarefa Cognitiva (Com, Sem), por Perigo (Sem, Central, Periférico), com medidas repetidas nos dois últimos fatores. O software JASP (versão 0.19.1) foi utilizado para realizar todas as análises estatísticas necessárias. O nível de significância adotado foram de 0,05 para todas as análises. Comparações aos pares (post-hoc) foram realizadas através do Teste LSD de Tukey. Ajustes de probabilidade de Bonferroni e ajustes de graus de liberdade de Greenhouse-Geisser foram utilizados conforme necessário (Maxwell e Delaney, 1990).

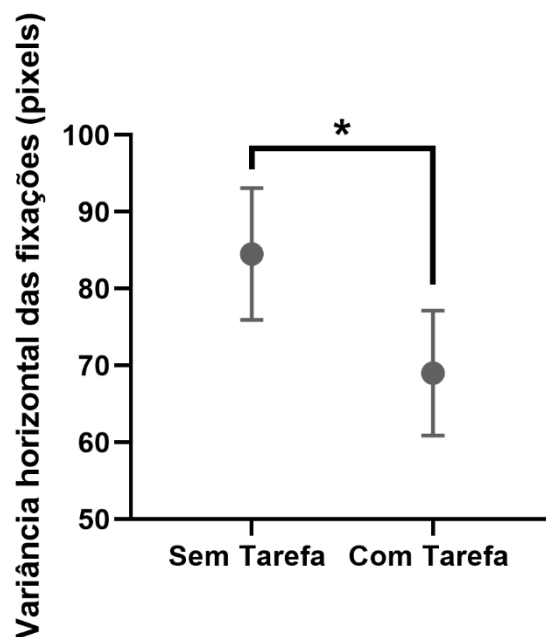
4. RESULTADOS

4.1. Efeitos da tarefa de indução de imagens mentais

4.1.1. Comportamento do olhar

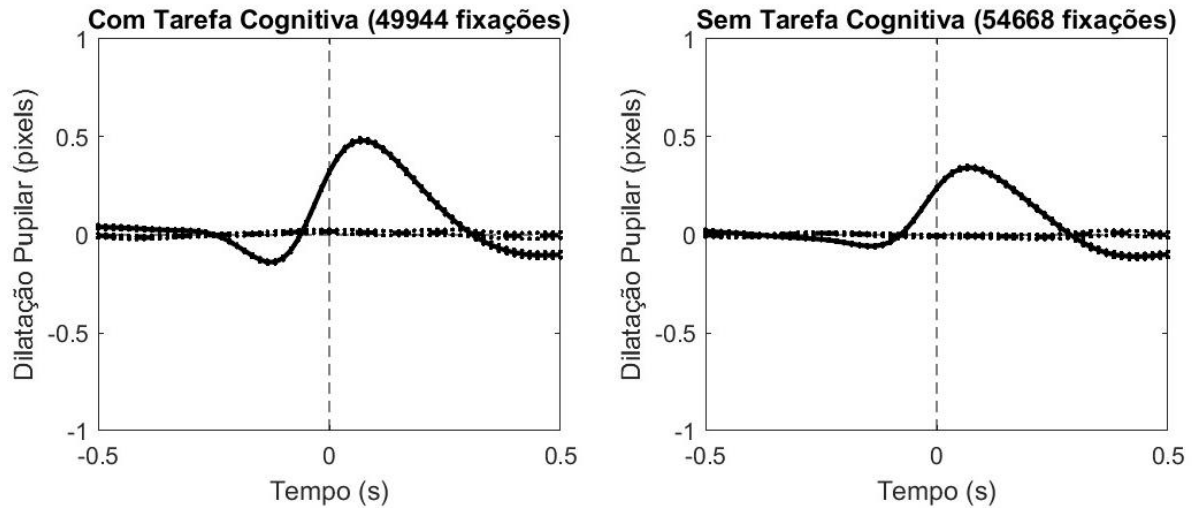
Para a variância das posições horizontais das fixações, a ANOVA-RM mostrou um efeito principal de tarefa cognitiva $F(1, 24) = 6.882$, $\eta_p^2 = 0.223$, $p=0.015$. A condição Sem Tarefa Cognitiva ($M=84.528$, $EP=8.592$) teve uma maior dispersão horizontal das fixações comparado a condição Com Tarefa Cognitiva ($M=69.017$, $EP=8.118$). Para a amplitude máxima da curva da pupila (PICO), a ANOVA-RM não encontrou efeitos significativos. No entanto, o efeito principal de tarefa secundária encontrado foi marginalmente significativo, $F(1, 24) = 4.246$, $\eta_p^2 = 0.150$, $p=0.05$.

Figura 5 - Variância horizontal das fixações oculares comparando condições sem e com tarefa cognitiva. (*) Diferença significativa encontrada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 – Curva média ($\pm$ erro padrão) da dilatação da pupila 500 ms antes e 500 ms após o início de cada fixação. O valor zero no eixo horizontal (Tempo) representa o instante do início de cada fixação; o valor zero no eixo vertical (Dilatação da pupila) representa a referência de tamanho da pupila no início da fixação - linha de base, com valores positivos sendo interpretados como dilatação da pupila e negativos como constrição da pupila.

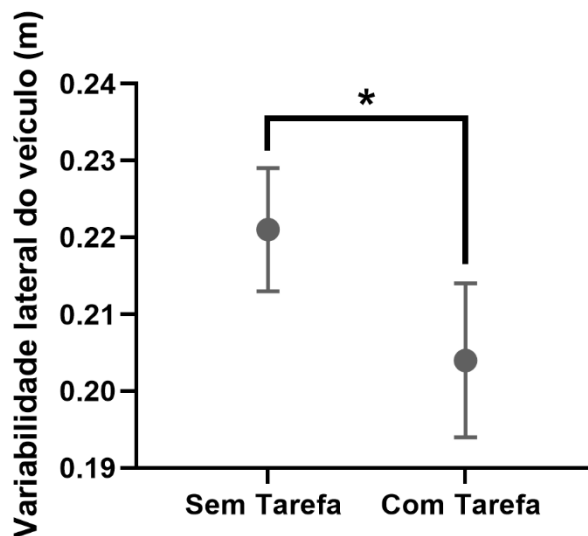


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2. Desempenho da direção

Para a variabilidade da posição lateral do veículo, a ANOVA-RM mostrou um efeito principal de tarefa cognitiva $F(1, 24) = 6.891$, $\eta_p^2 = 0.223$, $p=0.015$. A condição Sem Tarefa Cognitiva ($M= 0.221$, $EP= 0.008$) teve uma maior oscilação lateral do veículo comparado a condição Com Tarefa Cognitiva ($M= 0.204$, $EP= 0.010$).

Figura 7 - Variabilidade lateral do veículo comparando condições sem e com tarefa cognitiva. (*) Diferença significativa encontrada.



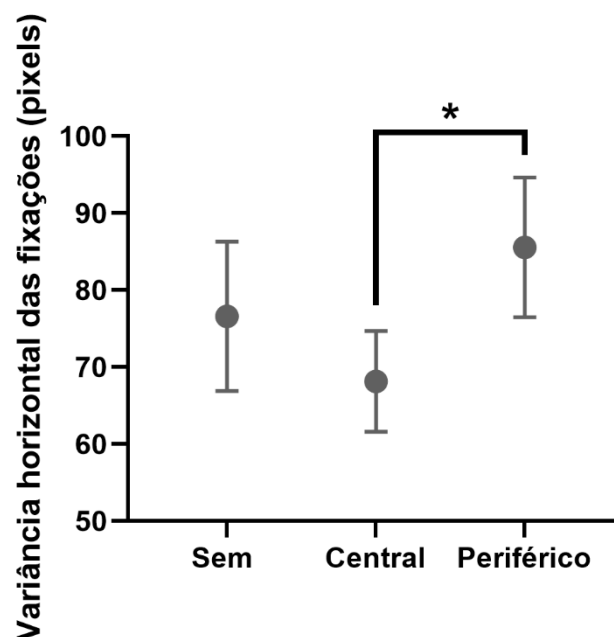
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.Efeitos do tipo de perigo

4.2.1. Comportamento do olhar

Para a variância das posições horizontais das fixações, a ANOVA-RM mostrou um efeito principal de tipos de perigo $F(2, 48) = 4.093$, $\eta_p^2 = 0.146$, $p=0.023$. O teste Post-Hoc, com ajustes de probabilidade de Bonferroni, mostrou que o Perigo Periférico ($M=85.573$, $EP=9.085$) teve uma maior dispersão horizontal das fixações comparado ao Perigo Central ($M=68.142$, $EP=6.550$), valor de $p_{\text{bonferroni}}=0.003$.

Figura 8 - Variância horizontal das fixações oculares comparando as diferentes condições de perigo (Sem, Central, Periférico). (*) Diferença significativa encontrada.

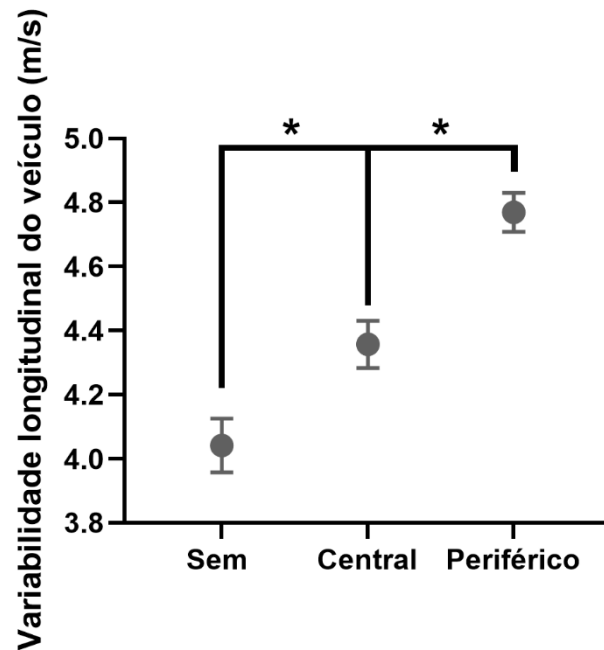


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2. Desempenho da direção

Para a variabilidade da velocidade longitudinal, a ANOVA-RM, com ajustes de grau de liberdade de Greenhouse-Geisser, mostrou um efeito principal de perigo $F(1.434, 34.423) = 48.139$, $\eta_p^2 = 0.667$, $p<0.001$. O teste de Post-Hoc, com ajustes de probabilidade de Bonferroni, mostrou que o Perigo Periférico ($M= 4.769$, $EP= 0.061$) teve uma maior variação da velocidade longitudinal comparado ao Perigo Central ($M= 4.357$, $EP= 0.074$) e Sem Perigo ($M= 4.042$, $EP= 0.084$), ambos valores de $p_{\text{Bonferroni}} < 0.001$. Enquanto, o Perigo Central ($M= 4.357$, $EP= 0.074$) teve uma maior variação da velocidade longitudinal comparado ao Sem Perigo ($M= 4.042$, $EP= 0.084$), valor de $p_{\text{Bonferroni}}=0.008$.

Figura 9 - Variabilidade longitudinal do veículo comparando as diferentes condições de perigo (Sem, Central, Periférico. (*) Diferença significativa encontrada.

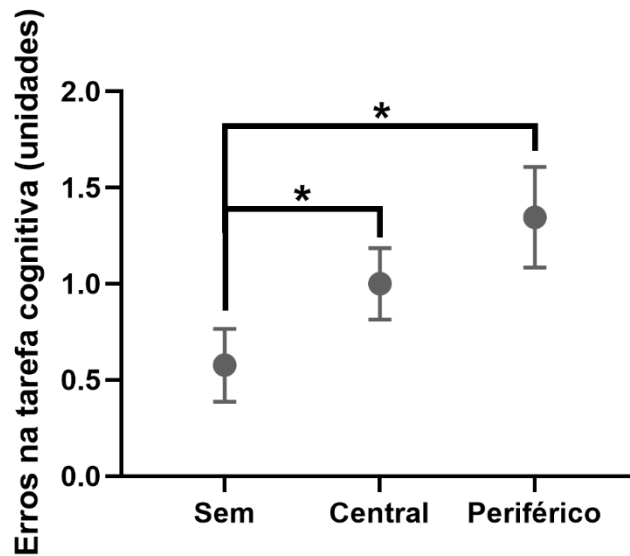


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3. Desempenho na tarefa secundária

Para os erros na tarefa secundária, a ANOVA-RM mostrou um efeito principal de perigo, $F(2, 48) = 8.361$, $np2 = 0.258$, $p < 0.001$. O teste Post-Hoc, com ajustes de probabilidade de Bonferroni, mostrou que o Perigo Periférico ($M=1.346$, $EP=0.262$ unidades) e o Perigo Central ($M=1.000$, $EP=0.185$ unidades) tiveram mais erros na tarefa cognitiva comparado ao Sem Perigo ($M= 0.577$, $EP=0.189$ unidades), valores de $p_{\text{Bonferroni}}=0.004$, $p_{\text{Bonferroni}}=0.024$, respectivamente.

Figura 10 - Quantidade de erros durante a tarefa cognitiva comparando nas diferentes condições de perigo (Sem, Central, Periférico. (*) Diferença significativa encontrada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

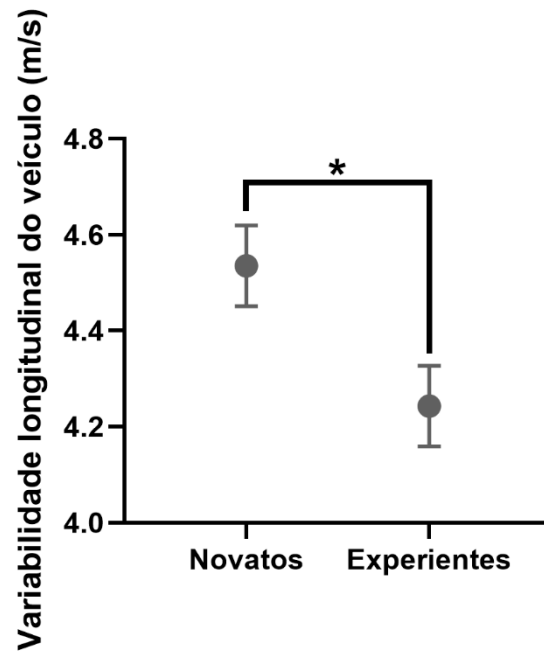
Para a quantidade de colisões, a ANOVA-RM não encontrou efeitos significativos para a variável número de colisões.

4.3.Efeitos de grupo

4.3.1. Desempenho da direção

Para a variabilidade da velocidade longitudinal, a ANOVA-RM mostrou um efeito principal de grupo $F(1, 24) = 5.983$, $\eta_p^2 = 0.200$, $p=0.022$. O grupo de motoristas novatos ($M=4.535$, $EP=0.084$) oscilaram em maior grau a velocidade longitudinal do veículo comparada ao grupo de motoristas experientes ($M=4.243$, $EP=0.084$).

Figura 11 - Variabilidade longitudinal do veículo comparando entre os grupos de motoristas experientes e novatos. (*) Diferença significativa encontrada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. DISCUSSÃO

O presente estudo investigou os efeitos de uma tarefa de indução de imagens mentais sobre o comportamento do olhar, mensurando conjuntamente a carga de trabalho mental por meio da pupilometria, em motoristas experientes e novatos durante a condução de automóvel em situações de perigos distintas. Nossos principais achados mostraram que a presença da tarefa secundária reduziu a dispersão horizontal das fixações e a oscilação lateral do veículo; a condição de perigo periférico promoveu um aumento da dispersão horizontal das fixações; e a análise estatística não encontrou nenhum efeito significativo para a amplitude máxima da curva da pupila. A primeira hipótese do presente estudo foi parcialmente confirmada. A redução da dispersão horizontal das fixações, causada pela presença da tarefa secundária, mostra os efeitos de tarefas concorrentes durante a direção do automóvel, o que fortalece o entendimento do fenômeno “Visão de túnel”. De acordo com a literatura científica, o aumento da demanda por recursos atencionais devido a execução de tarefas concorrentes, como dirigir e falar ao telefone celular, promove uma redução do campo de atenção visual do motorista, estreitando esse campo de atenção visual e reduzindo a percepção aos estímulos periféricos. Ademais, para a primeira hipótese, (i) não foram encontrados efeitos significativos para a amplitude máxima da curva da pupila; e (ii) houve uma redução da variabilidade da posição lateral do veículo na presença da tarefa secundária. A segunda hipótese não foi confirmada; nossos achados mostraram que a variância horizontal do olhar foi diferente nos tipos de perigo independentemente, mostrando aumento: (i) da variância horizontal das fixações nas condições de perigo periférico; (ii) da variabilidade da velocidade longitudinal nas condições de perigo periférico e central; e (iii) aumento gradual dos erros na tarefa secundária nas condições de perigo periférico e central. A terceira hipótese não foi confirmada; nossos resultados mostraram que a amplitude máxima da curva da pupila não mostrou efeitos significativos sobre nenhum fator. Complementarmente, houve uma maior variação da velocidade longitudinal do veículo para o grupo de motoristas novatos comparado ao grupo de experientes.

A seguir, a discussão dos resultados será realizada com base nos efeitos de tarefa, de perigo e de grupo.

5.1. Efeitos da tarefa sobre o comportamento do olhar e desempenho da direção

Para a primeira hipótese, formulou-se que o comportamento do olhar, a carga de trabalho mental e o controle lateral do carro seriam afetados pela tarefa secundária de indução de imagens mentais, mostrando fixações mais concentradas, um maior diâmetro da pupila e uma

maior oscilação lateral do veículo na condição Com Tarefa Secundária comparado a condição Sem Tarefa Secundária.

Em primeiro lugar, nossos achados acerca do comportamento do olhar mostraram uma redução da dispersão horizontal das fixações dos motoristas na condição Com Tarefa Secundária comparado a condição Sem Tarefa Secundária. Esses achados corroboram estudos anteriores presentes na literatura científica (Carizio et al., 2017; Briggs et al., 2016). A adição de uma tarefa secundária ao contexto de direção de automóvel aumentou a demanda por recursos atencionais, pois o motorista teve que dividir sua atenção simultaneamente entre as tarefas de direção e de indução de imagens mentais. Como a atenção é um recurso limitado, tarefas desafiadoras, que necessitam de muitos recursos atencionais, podem prejudicar o desempenho de uma ou ambas as tarefas (Wickens, 2002, 2008). Especificamente no presente estudo, a tarefa de indução de imagens mentais utilizou o mesmo canal sensorial que a percepção (Pearson et al., 2015; Pearson, 2019), com o aumento da demanda por recursos atencionais, o canal visual foi sobrecarregado devido a percepção e a geração de imagens mentais, o que reduziu assim a dispersão horizontal das fixações. Adicionalmente, nossos achados podem confirmar o fenômeno de visão de túnel, um afunilamento do campo da atenção visual que se vincula ao aumento da demanda dos recursos atencionais, uma vez que nossos achados detectaram uma redução da dispersão horizontal das fixações, característico deste fenômeno. Briggs et al. (2016) mostraram uma redução nos padrões de escaneamento visual, decorrente do afunilamento do campo de atenção visual. Ainda, Briggs et al. (2016) argumentam que motoristas empregam estratégias compensatórias quando realizam tarefas secundárias para reduzir as exigências operacionais, o que possibilita a continuidade da execução das tarefas, mas com um decréscimo no desempenho, como maior oscilação lateral na pista, maior tempo de resposta aos perigos, menor detecção aos perigos. No mesmo sentido, essas estratégias compensatórias podem ter sido empregadas pelos motoristas, o que modificou os padrões de escaneamento visual e reduziu o comportamento do olhar dos motoristas na presença de uma tarefa secundária.

Em segundo lugar, nossos achados acerca do diâmetro da pupila mostraram um efeito marginalmente significativo entre as condições Com Tarefa Secundária e Sem Tarefa Secundária. Ainda que marginais, nossos achados corroboram estudos anteriores presentes na literatura científica (Carizio et al., 2021; Briggs et al., 2011 e Jayawardena et al., 2022), pois a realização de tarefas concorrentes promove um aumento da demanda por recursos atencionais possibilitando a mensuração do diâmetro da pupila dos motoristas. Nossos achados sugerem

que a adição da tarefa de indução de imagens mentais ao contexto de direção de automóvel aumentou interferência entre as tarefas, devido a competição das tarefas pelos recursos atencionais limitados, consequentemente elevando o esforço mental dos motoristas durante a realização de tarefas concorrentes.

Em terceiro lugar, nossos achados acerca da manutenção de faixa mostraram uma redução da oscilação lateral do veículo na condição Com Tarefa Secundária comparado a condição Sem Tarefa Secundária. De modo geral, esses achados estão em oposição a estudos anteriores presentes na literatura científica (Briggs et al., 2011; Sterkenburg et al., 2020; Wu et al., 2024), pois a adição de tarefas secundárias degrada majoritariamente a manutenção de faixa, devido ao compartilhamento dos recursos atencionais limitados, levando a desvios de atenção pelo motorista entre as tarefas, o que consequentemente aumenta a variabilidade da posição lateral do veículo. No entanto, Li et al. (2018) mostra uma melhora do controle lateral do veículo (descrita pelo desvio-padrão da posição lateral) mediante a presença de uma tarefa n-back multinível. Para Li et al. (2018), a concentração do olhar no centro da pista auxiliou na melhora do controle lateral, visto que na presença de tarefa secundárias o campo visual do motorista tende a se centralizar, focando nas informações visuais relevantes para a direção. Com o olhar focado ao centro da pista, o controle lateral do veículo aumentou, ou seja, reduziu a variabilidade da posição lateral do veículo. Em outra perspectiva, Interessantemente, Briggs et al. (2016), em seu segundo experimento, mostraram que variáveis relacionadas a percepção foram afetadas pela tarefa de indução mentais, pois ambas (direção e indução de imagens mentais) utilizaram o mesmo canal sensorial (Pearson et al., 2019). Por outro lado, Briggs et al. (2011) também mostraram que tarefas secundárias, como conversas emocionalmente envolventes, prejudicaram o comportamento do olhar e o desempenho da direção. Diante disso, é possível que tarefas de indução de imagens mentais prejudiquem majoritariamente a percepção visual devido ao seu compartilhamento com a geração de imagens mentais no canal visual. Enquanto, tarefas secundárias que utilizam outros tipos de canais sensoriais podem afetar o sistema perceptivo-motor como um todo, ou seja, o comportamento do olhar e o desempenho da direção, como observado por Briggs et al., 2011. Nessa perspectiva, pode-se explicar a maior estabilidade lateral do veículo ao observar a característica da tarefa de indução de imagens mentais, que ao invés de sobrecarregar o sistema, sobrecarregou exclusivamente o canal visual, o que prejudicou a percepção visual do motorista.

5.2.Efeitos do tipo de perigo sobre o comportamento do olhar e desempenho da direção

Para a segunda hipótese, formulou-se que o comportamento do olhar seria afetado pelos tipos de perigo apresentados. Nossos achados acerca do comportamento do olhar mostraram que houve um aumento da dispersão horizontal das fixações no perigo periférico comparado ao perigo central. Esses achados estão em oposição a estudos anteriores presentes na literatura científica (Briggs et al., 2016). Esperava-se que a interferência causada pela competição por recursos atencionais impossibilitasse a adaptação do comportamento do olhar dependendo do estímulo de perigo apresentado. Ainda, Briggs et al. (2016), ao implementar uma tarefa de indução de imagens mentais sobre motoristas em diferentes condições de tarefa (Com e Sem) mostrou que a variância média entre os estímulos de perigo periférico e central não sofreram adaptação. Adicionalmente, nossos achados acerca do desempenho da direção e do motorista na tarefa secundária mostraram uma maior variação da velocidade longitudinal do veículo e maior quantidade de erros da tarefa secundária no Perigo Periférico comparado ao Perigo Central, respectivamente. Durante o estímulo de perigo periférico, os motoristas não conseguiram controlar adequadamente sua velocidade longitudinal e tiveram mais erros na tarefa secundária.

De modo geral, nossos achados sugerem que os motoristas adotaram uma estratégia ativa de compensação. Na presença do perigo periférico, os motoristas redirecionaram voluntariamente sua atenção para uma vigilância lateral mais intensa, indicado pelo aumento da dispersão horizontal das fixações. De modo semelhante, Crundall et al. (2012) mostraram que motoristas ajustam suas estratégias de olhar com base no perigo apresentado, podendo a variação da velocidade ser um reflexo dessa cautela. No entanto, a vigilância ativa tem um custo cognitivo significativo (Warm et al., 2008). Como a atenção é um recurso limitado, ao priorizar o monitoramento do ambiente e o controle do veículo, restaram menos recursos para a realização da tarefa secundária de indução de imagens mentais. Diante disso, ao se deparar com o perigo periférico, os motoristas optaram por redirecionar sua atenção para a tarefa principal, mantendo seu desempenho, em detrimento da tarefa secundária. Entende-se que o aumento de erros na tarefa secundária não seja um indicador de falha, mas uma informação sobre o custo atencional de manter-se sob vigilância contra perigos periféricos.

5.3.Efeitos de grupo sobre o desempenho da direção

Para a terceira hipótese, formulou-se que a dilatação da pupila seria maior para o grupo de motoristas novatos comparado ao grupo de motoristas experientes. De modo geral, não mostraram efeitos significativos para a dilatação da pupila, o que contrasta com a terceira

hipótese. No entanto, um efeito significativo de grupo foi encontrado para a velocidade longitudinal do veículo.

Nossos achados acerca da dilatação da pupila não encontraram efeitos significativos. Esses achados estão em oposição a estudos anteriores encontrados na literatura científica (Carizio et al., 2021). Carizio et al. (2021) mostrou que motoristas novatos apresentaram uma maior dilatação da pupila comparado a motoristas experientes. Seus resultados mostram como a automatização da tarefa por parte dos experientes, auxiliou na redução da dilatação da pupila enquanto motoristas novatos, por ainda não possuírem essa automatização, aumentaram a dilatação da pupila. Nossos achados sugerem que a tarefa de indução de imagens mentais não foi suficientemente desafiadora para evocar a dilatação da pupila durante as tarefas concorrentes.

Nossos achados acerca do desempenho da direção, designado pela variação da velocidade horizontal, mostraram que os motoristas novatos variaram em maior grau a velocidade longitudinal do veículo. Esses achados corroboram estudos anteriores presentes na literatura científica (Underwood et al., 2013). A maior variação da velocidade longitudinal no grupo novatos é um indicador consistente de um controle veicular mais refinado e uma maior consciência situacional. Motoristas experientes antecipam os eventos, realizando ajustes de velocidade mais suaves e proativos, enquanto os motoristas novatos tendem a reagir de forma mais abrupta aos estímulos, resultando em um perfil de velocidade mais errático. Diante disso, o nível de experiência do motorista se manifestou mais claramente no desempenho operacional do veículo (velocidade longitudinal) do que na medida fisiológica de carga mental (dilatação da pupila). Isso sugere que o nível de experiência na direção está mais relacionado à eficiência e suavidade das ações do que a uma simples redução na carga mental percebida.

5.4.Limitações do presente estudo

O presente trabalho apresenta algumas limitações metodológicas. Somente adultos jovens participaram do estudo, sendo assim nossos resultados são referentes a esta população. A tarefa principal foi realizada em um simulador de direção, embora a tarefa seja semelhante ao ambiente real, o ambiente de direção carece de alguns feedbacks sensoriais, como auditivo e táteis. Embora haja limitações neste estudo, nossos achados mostram efeitos significativos complementares a literatura científica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, o presente trabalho conclui que (i) a presença da tarefa secundária de indução de imagens mentais prejudicou o comportamento do olhar, reduzindo a dispersão horizontal das fixações, enquanto houve um aumento da estabilidade na manutenção de faixa do veículo; (ii) o perigo periférico exigiu dos motoristas um redirecionamento da atenção para a periferia do cenário e uma maior variação da velocidade longitudinal; (iii) o grupo de motoristas novatos não conseguiu controlar a velocidade longitudinal do veículo. De modo geral, este estudo contribui para o entendimento dos impactos relacionados a tarefas secundárias e a origem do perigo nos ambientes de direção, e mostrar os efeitos da experiência dos motoristas sobre o controle do veículo.

A literatura científica sobre tarefas secundárias é amplamente estudada, auxiliando pesquisadores a compreenderem de forma aprofundada os efeitos dessas tarefas sobre o comportamento motor humano, a partir dos movimentos dos olhos, controle da postura ou desempenho da tarefa. Embora este tema de estudo pareça se distanciar da área de Educação Física, ela está intrinsicamente inserida através do estudo do movimento humano. As ações motoras primariamente necessitam de estímulos sensoriais para serem realizados e, após seu processamento, esses estímulos sensoriais desencadeiam uma ou múltiplas respostas motoras. Diante disso, o presente estudo fundamentasse na realização de tarefas perceptivo-motoras por motoristas com diferentes níveis de experiência, com o objetivo de, ao adicionar uma tarefa secundária, os recursos atencionais, essenciais para a realização de tarefas motoras ou cognitivas (Wickens, 2002; 2008), sejam divididos entre ambas as tarefas, perturbando o sistema cognitivo-motor do motorista. Dessa forma, a área da Educação Física tem papel fundamental no presente estudo, pois é a partir da Educação Física que o estudo do movimento humano é possível.

REFERÊNCIAS

- ALMOGBEL, Mohammad A.; DANG, Anh H.; KAMEYAMA, Wataru. EEG-signals based cognitive workload detection of vehicle driver using deep learning. In: **2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)**. IEEE, 2018. p. 256-259.
- AMINI, Roja Ezzati et al. Driver distraction and in-vehicle interventions: A driving simulator study on visual attention and driving performance. **Accident Analysis e Prevention**, v. 191, p. 107195, 2023.
- ANDRADE, Flávia Reis de; ANTUNES, José Leopoldo Ferreira. Falta de atenção ao conduzir veículo automotor como causa de acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras. **Revista brasileira de epidemiologia**, v. 23, p. e200085, 2020.
- BAKIRI, Sarah et al. Distraction and driving: Results from a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. **Accident Analysis e Prevention**, v. 59, p. 588-592, 2013.
- BARAKAT, Brandon et al. Eye tracking evaluation of driver visual behavior with a forward collision warning and mitigation system. In: **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2015. p. 1321-1325.
- BEATTY, Jackson. Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. **Psychological bulletin**, v. 91, n. 2, p. 276, 1982.
- BERGEN, Benjamin et al. The crosstalk hypothesis: why language interferes with driving. **Journal of experimental psychology: general**, v. 142, n. 1, p. 119, 2013.
- BRIGGS, Gemma F.; HOLE, Graham J.; LAND, Michael F. Emotionally involving telephone conversations lead to driver error and visual tunnelling. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 14, n. 4, p. 313-323, 2011.
- BRIGGS, Gemma F.; HOLE, Graham J.; TURNER, Jim AJ. The impact of attentional set and situation awareness on dual tasking driving performance. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 57, p. 36-47, 2018.
- BUTMEE, Totsapon; LANSDOWN, Terry C.; WALKER, Guy H. Mental workload and performance measurements in driving task: A review literature. In: **Congress of the International Ergonomics Association**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 286-294.
- CARIZIO, Bethânia G. et al. Pupil dilation as indicative of cognitive workload while driving a car: effects of cell phone use and driver experience in young adults. **Brazilian Journal of Motor Behavior**, v. 15, n. 5, p. 391-402, 2021.
- CARIZIO, Bethânia Graick et al. Effects of using a cell phone on gaze movements during simulated car driving: Hand-held and hands-free conditions. In: **International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 289-299.

- CHARLES, Rebecca L.; NIXON, Jim. Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review. **Applied ergonomics**, v. 74, p. 221-232, 2019.
- CHEN, Tiantian et al. Distractions by work-related activities: the impact of ride-hailing app and radio system on male taxi drivers. **Accident Analysis e Prevention**, v. 178, p. 106849, 2022.
- CRUNDALL, David et al. Some hazards are more attractive than others: Drivers of varying experience respond differently to different types of hazard. **Accident Analysis e Prevention**, v. 45, p. 600-609, 2012.
- DESMET, Charlotte; DIEPENDAELE, Kevin. An eye-tracking study on the road examining the effects of handsfree phoning on visual attention. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 60, p. 549-559, 2019.
- ENGSTRÖM, Johan et al. Effects of cognitive load on driving performance: The cognitive control hypothesis. **Human factors**, v. 59, n. 5, p. 734-764, 2017.
- FAURE, Vèrane; LOBJOIS, Régis; BENGUIGUI, Nicolas. The effects of driving environment complexity and dual tasking on drivers' mental workload and eye blink behavior. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 40, p. 78-90, 2016.
- FOY, Hannah J.; CHAPMAN, Peter. Mental workload is reflected in driver behaviour, physiology, eye movements and prefrontal cortex activation. **Applied ergonomics**, v. 73, p. 90-99, 2018.
- HARBLUK, Joanne L. et al. An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance. **Accident Analysis e Prevention**, v. 39, n. 2, p. 372-379, 2007.
- HUANG, Jiaqi et al. Assessment of drivers' mental workload by multimodal measures during auditory-based dual-task driving scenarios. **Sensors**, v. 24, n. 3, p. 1041, 2024.
- HUEMER, Anja Katharina et al. Systematic review of observational studies on secondary task engagement while driving. **Accident Analysis e Prevention**, v. 119, p. 225-236, 2018.
- HUEMER, Anja Katharina; VOLLRATH, Mark. Driver secondary tasks in Germany: Using interviews to estimate prevalence. **Accident Analysis e Prevention**, v. 43, n. 5, p. 1703-1712, 2011.
- JAYAWARDENA, Gavindya et al. Toward a real-time index of pupillary activity as an indicator of cognitive load. **Procedia Computer Science**, v. 207, p. 1331-1340, 2022.
- JAZAYERI, Ali et al. The Impact of driver distraction and secondary tasks with and without other co-occurring driving behaviors on the level of road traffic crashes. **Accident Analysis e Prevention**, v. 153, p. 106010, 2021.
- KAHNEMAN, Daniel. **Attention and effort**. Englewood Cliffs, NJ: prentice-Hall, 1973.
- KERR, Nancy H. Rate of imagery processing in two versus three dimensions. **Memory e cognition**, v. 21, n. 4, p. 467-476, 1993.
- KLINGNER, Jeff. Fixation-aligned pupillary response averaging. In: **Proceedings of the 2010 symposium on eye-tracking research e applications**. 2010. p. 275-282.

KLINGNER, Jeff. The pupillometric precision of a remote video eye tracker. In: **Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research e Applications**. 2010. p. 259-262.

KORDA, Živa et al. Effects of internally directed cognition on smooth pursuit eye movements: A systematic examination of perceptual decoupling. **Attention, Perception, e Psychophysics**, v. 85, n. 4, p. 1159-1178, 2023.

KOUNTOURIOTIS, Georgios K. et al. Looking and thinking when driving: The impact of gaze and cognitive load on steering. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 34, p. 108-121, 2015.

LAND, Michael F. Eye movements and the control of actions in everyday life. *Progress in retinal and eye research*, v. 25, n. 3, p. 296-324, 2006.

LEHTONEN, Esko et al. Effect of driving experience on anticipatory look-ahead fixations in real curve driving. *Accident Analysis e Prevention*, v. 70, p. 195-208, 2014.

LI, Jing et al. Distracted driving caused by voice message apps: A series of experimental studies. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 76, p. 1-13, 2021.

LI, Penghui et al. Is improved lane keeping during cognitive load caused by increased physical arousal or gaze concentration toward the road center? **Accident Analysis e Prevention**, v. 117, p. 65-74, 2018.

MAHANAMA, Bhanuka et al. Eye movement and pupil measures: A review. **frontiers in Computer Science**, v. 3, p. 733531, 2022.

MAXWELL, Scott E.; DELANEY, Harold D.; KELLEY, Ken. **Designing experiments and analyzing data: A model comparison perspective**. Routledge, 2017.

METZ, Barbara; LANDAU, Andreas; HARGUTT, Volker. Frequency and impact of hands-free telephoning while driving—Results from naturalistic driving data. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 29, p. 1-13, 2015.

MULDER, Gerard. The concept and measurement of mental effort. In: **Energetics and human information processing**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1986. p. 175-198.

NIEZGODA, Michal et al. Towards testing auditory–vocal interfaces and detecting distraction while driving: A comparison of eye-movement measures in the assessment of cognitive workload. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 32, p. 23-34, 2015.

NOWOSIELSKI, Robert J.; TRICK, Lana M.; TOXOPEUS, Ryan. Good distractions: Testing the effects of listening to an audiobook on driving performance in simple and complex road environments. **Accident Analysis e Prevention**, v. 111, p. 202-209, 2018.

PATTEN, Christopher JD et al. Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. **Accident analysis e prevention**, v. 36, n. 3, p. 341-350, 2004.

PEARSON, Joel et al. Mental imagery: functional mechanisms and clinical applications. **Trends in cognitive sciences**, v. 19, n. 10, p. 590-602, 2015.

- PEARSON, Joel. The human imagination: the cognitive neuroscience of visual mental imagery. **Nature reviews neuroscience**, v. 20, n. 10, p. 624-634, 2019.
- RECARTE, Miguel A.; NUNES, Luis M. Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. **Journal of experimental psychology: Applied**, v. 6, n. 1, p. 31, 2000.
- RECARTE, Miguel Angel; NUNES, Luis. Mental load and loss of control over speed in real driving.: Towards a theory of attentional speed control. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 5, n. 2, p. 111-122, 2002.
- SILVA, Gustavo de Andrade. Efeitos da experiência e das demandas cognitivas sobre a carga de trabalho mental durante a condução de automóvel: métodos de pupilometria. 2023.
- STAVRINOS, Despina et al. Impact of distracted driving on safety and traffic flow. **Accident Analysis e Prevention**, v. 61, p. 63-70, 2013.
- STAVRINOS, Despina et al. Impact of distracted driving on safety and traffic flow. **Accident Analysis e Prevention**, v. 61, p. 63-70, 2013.
- STERKENBURG, Jason; JEON, Myounghoon. Impacts of anger on driving performance: A comparison to texting and conversation while driving. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 80, p. 102999, 2020.
- STRAYER, David L. et al. Assessing cognitive distraction in the automobile. **Human factors**, v. 57, n. 8, p. 1300-1324, 2015.
- TAO, Da et al. A systematic review of physiological measures of mental workload. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 15, p. 2716, 2019.
- UNDERWOOD, Geoffrey; NGAI, Athy; UNDERWOOD, Jean. Driving experience and situation awareness in hazard detection. **Safety science**, v. 56, p. 29-35, 2013.
- VAN LEEUWEN, Peter M.; HAPPEE, Riender; DE WINTER, Joost CF. Changes of driving performance and gaze behavior of novice drivers during a 30-min simulator-based training. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 3325-3332, 2015.
- VAN WINSUM, Wim. The effects of cognitive and visual workload on peripheral detection in the detection response task. **Human factors**, v. 60, n. 6, p. 855-869, 2018.
- VLAKVELD, Willem; DOUMEN, Michelle; VAN DER KINT, Sander. Driving and gaze behavior while texting when the smartphone is placed in a mount: A simulator study. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 76, p. 26-37, 2021.
- WALCHER, Sonja et al. How workload and availability of spatial reference shape eye movement coupling in visuospatial working memory. **Cognition**, v. 249, p. 105815, 2024.
- WALCHER, Sonja et al. The effects of type and workload of internal tasks on voluntary saccades in a target-distractor saccade task. **PLoS One**, v. 18, n. 8, p. e0290322, 2023.

WARM, Joel S.; PARASURAMAN, Raja; MATTHEWS, Gerald. Vigilance requires hard mental work and is stressful. **Human factors**, v. 50, n. 3, p. 433-441, 2008.

WICKENS, Christopher D. Multiple resources and mental workload. *Human factors*, v. 50, n. 3, p. 449-455, 2008.

WICKENS, Christopher D. Multiple resources and mental workload. **Human factors**, v. 50, n. 3, p. 449-455, 2008.

WICKENS, Christopher D. Multiple resources and performance prediction. **Theoretical issues in ergonomics science**, v. 3, n. 2, p. 159-177, 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global status report on road safety 2023**. Geneva: World Health Organization, 2023.

WU, Mengjiao et al. Analysis and comparison of auditory-cognitive and visual-manual distraction risk characteristics and their effect on driving. **Transportation research part F: traffic psychology and behaviour**, v. 107, p. 1042-1061, 2024.

WU, Mengjiao et al. Estimation of driver vigilance level for various cognitive distractions when drivers use advanced driving assistance functions. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 109, p. 571-587, 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

1	2
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO ESTUDO: Controle visual de automóveis em motoristas experientes e novatos: Efeitos da sobrecarga cognitiva mensurada por pupilometria Você está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa acima citado. O documento abaixo contém todas as informações importantes sobre a pesquisa e será disponibilizado em duas vias originais (uma para ficar com o participante e outra para ficar com o pesquisador) e deverá conter em todas as folhas, as rubricas do participante e pesquisador, juntamente com suas respectivas assinaturas ao final do documento. Sua colaboração com este estudo será de grande importância para nós, mas caso queira desistir a qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo a você. Eu, _____, profissão _____, residente e domiciliado no endereço _____ na cidade de _____, portador da Cédula de identidade, RG _____, e inscrito no CPF/MF _____ nascido(a) em ____/____/____, abaixo assinado(a), concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário(a) do estudo "Controle visual de automóveis em motoristas experientes e novatos: Efeitos da sobrecarga cognitiva mensurada por pupilometria". Declaro que obtive todas as informações necessárias, bem como todos os eventuais esclarecimentos quanto às dúvidas por mim apresentadas. Estou ciente que: I) O presente estudo irá investigar os efeitos da sobrecarga cognitiva sobre a dilatação da pupila de motoristas experientes e novatos durante a condução de automóvel; II) Antes de iniciar o teste, farei uma familiarização com os equipamentos e depois com a tarefa experimental; III) Os benefícios esperados do estudo dizem respeito à identificação do impacto da sobrecarga cognitiva, indicado pela resposta pupilar, durante a condução do automóvel com motoristas de diferentes níveis de experiência; IV) A participação neste projeto não tem objetivo realizar tratamento médico, bem como não me acarretará qualquer despesa pecuniária com relação aos procedimentos efetuados com o estudo; V) Para a coleta de dados, não será utilizado nenhum procedimento invasivo, como coleta de material biológico com agulhas. Os participantes utilizarão um sistema de análise de movimentos dos olhos que irá registrar a localização do olhar e o diâmetro da pupila dos participantes durante a realização da tarefa de condução em simulador. Todas as condições experimentais oferecerão os seguintes riscos mínimos: constrangimento, ansiedade, medo; náuseas e tonturas. Caso ocorram, os experimentadores prestarão o apoio e auxílio imediato ao participante. Dependendo da gravidade do acidente, o SAMU será acionado pelo código 192.	VI) A atividade a ser realizada será conduzir um automóvel em um simulador com três condições experimentais, nas quais sua tarefa será dirigir durante dois minutos em uma rodovia de trânsito dinâmico e manter a velocidade do veículo entre 100 e 120 km/h, evitando cometer infrações de trânsito (e.g., não utilizar setas ao ultrapassar, colidir com outros veículos etc.); VII) É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo; VIII) A desistência não causará nenhum prejuízo à minha saúde ou bem-estar físico; IX) Direito de confidencialidade – As informações obtidas serão analisadas em conjunto com as de outros voluntários, não sendo divulgado a identificação de nenhum paciente. Os resultados individuais obtidos durante este estudo serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados no seu conjunto (médias globais) em publicações científicas, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados; X) Direito de ser mantido atualizado sobre os resultados parciais das pesquisas, quando em estudos abertos, ou de resultados que sejam do conhecimento dos pesquisadores. Caso eu desejar, poderei pessoalmente tomar conhecimento dos resultados, ao final desta pesquisa. Garantia de acesso: em qualquer etapa do estudo, terei acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. Os experimentadores são Vinicius de Paula Rodrigues e Joana da Silva Candido, ambos sob orientação do Prof. Dr. Sérgio Tosti Rodrigues, ambos podem ser encontrados no endereço Rua Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Vargem Limpa, Bauri, SP, Brasil, CEP: 17033-360. – E-mail: vinicius.p.rodrigues@unesp.br, joana.candido@unesp.br e sergio.tosti@unesp.br. <u>Informações para contato:</u> Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências – UNESP Bauri: Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, nº 14-01 Bairro: Centro Município: Bauri CEP: 17.033-360 Unidade Federativa: SP Telefone: (14)3103-9400 Email: cepesquisa.fc@unesp.br <u>Despesas e compensações:</u> não há despesas pessoais para o participante em qualquer fase do estudo, incluindo exames e consultas. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação. Se existir qualquer despesa adicional, ela será absorvida pelo orçamento da pesquisa. Em caso de dano pessoal, diretamente causado pelos procedimentos ou tratamentos propostos neste estudo (nexo causal comprovado), o participante tem direito a tratamento médico na Instituição, bem como às indenizações legalmente estabelecidas. Compromisso do pesquisador de utilizar os dados e o material coletado somente para esta pesquisa. Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim. Eu discuti com o Vinicius de Paula Rodrigues sobre a minha decisão em participar desse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus

desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso a tratamento hospitalar quando necessário. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento neste Serviço.

Nome completo do Participante: _____ Data ____/____/____

Assinatura do participante

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste paciente ou representante legal para a participação neste estudo.

Nome completo do Experimentador: _____ Data ____/____/____

Assinatura do experimentador principal

APÊNDICE B - Formulários Pré e Pós-coleta



Formulário Pré-coleta

CONTROLE VISUAL DE AUTOMÓVEIS EM MOTORISTAS EXPERIENTES E NOVATOS: EFEITOS DA SOBRECARGA COGNITIVA MENSURADA POR PUPILOMETRIA

INFORMAÇÕES PESSOAIS		
Nome completo: _____		
# Sigla: _____		
# Nível de Experiência: () Experiente () Novato		
Idade: _____	#Peso (kg): _____	#Estatura (cm): _____
Grau de Escolaridade: _____		
Possui Carteira Nacional de Habilitação (CNH)? () SIM () NÃO		
Se sim, há quanto tempo? _____		
R: _____		
Qual a finalidade do uso do carro na sua rotina? _____		
R: _____		

INFORMAÇÕES SOBRE SAÚDE		
Possui algum problema oftalmológico? () SIM () NÃO		
Se sim, qual? _____		
R: _____		
Em qual(is) olho(s)? () Olho direito () Olho esquerdo () Ambos		
Faz uso de correção? () Lente () Óculos		
# <u>Teste de Snellen:</u>		
Olho direito: _____		
Olho esquerdo: _____		
Ambos: _____		
Possui alguma patologia, transtorno ou doença crônica? () SIM () NÃO		
Se sim, qual? _____		
R: _____		
Possui algum quadro de ansiedade diagnosticado? () SIM () NÃO		
Se sim, qual? _____		
R: _____		



Possui algum quadro de estresse diagnosticado? () SIM () NÃO
Se sim, qual? _____
R: _____
Faz o uso de algum medicamento crônico? () SIM () NÃO
Se sim, qual(is)? _____
R: _____
Faz o uso de medicamento para controle da ansiedade? () SIM () NÃO
Se sim, qual(is)? _____
R: _____
Faz o uso de medicamento antidepressivo? () SIM () NÃO
Se sim, qual(is)? _____
R: _____

INFORMAÇÕES PARA COLETA		
Anteriormente à coleta de dados, consumiu alguma bebida energética? () SIM () NÃO		
O que? Exemplos: energéticos, bebidas cafeinadas, café expresso, chás calmantes		
R: _____		
Anteriormente à coleta de dados, fez o uso de algum medicamento? () SIM () NÃO		
Se sim, qual(is)? _____		
R: _____		
Anteriormente à coleta de dados, fez o uso de medicamento para controle da ansiedade? () SIM () NÃO		
Se sim, qual(is)? _____		
R: _____		
Anteriormente à coleta de dados, fez o uso de medicamento antidepressivo? () SIM () NÃO		
Se sim, qual(is)? _____		
R: _____		



INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Tem hábito de jogar videogames com o tema direção de veículos? () SIM () NÃO
Se sim, há quanto tempo? _____
R: _____
Já dirigiu em um simulador de direção? () SIM () NÃO
Tem hábito de dirigir utilizando o GPS no celular ou no computador de bordo? () SIM () NÃO
Tem hábito de dirigir e conversar ao mesmo tempo? Seja no celular ou com um passageiro. () SIM () NÃO



Formulário Pós-coleta

Siga Participante:	
FEEDBACK TAREFA COGNITIVA	
Em sua opinião, qual o grau de dificuldade da tarefa cognitiva (imaginação do cubo)? Circule a coluna que o represente.	
0	10
1	9
2	8
3	7
4	6
5	5
6	4
7	3
8	2
9	1
Muito fácil	Muito difícil
Por quê? _____	
R: _____	

Você acredita que o simulador de direção é similar à situação real de direção? () SIM () NÃO
O que mais se assemelha à situação real no simulador? _____
R: _____
O que menos se assemelha à situação real no simulador? _____
R: _____

Em sua opinião, qual o grau de semelhança do simulador com a situação de direção REAL?	
0	10
1	9
2	8
3	7
4	6
5	5
6	4
7	3
8	2
9	1
Não se parece nada com a situação real	Se parece muito com a situação real

OBRIGADO(A) POR PARTICIPAR DO NOSSO ESTUDO!!



APÊNDICE C - Documento da tarefa cognitiva

unesp

Tarefa Cognitiva

CONTROLE VISUAL DE AUTOMÓVEIS EM MOTORISTAS EXPERIENTES E NOVATOS: EFEITOS DA SOBRECARGA COGNITIVA MENSURADA POR PUPILOMETRIA

POSIÇÃO INICIAL

O quadrado azul sempre terá como posição inicial o centro da figura:

unesp

POSIÇÃO FINAL

Com base na última instrução do áudio, aponte a posição final do quadrado azul na figura abaixo.

CNPq

Faculdade de Ciências

CNPq

Faculdade de Ciências

APÊNDICE D – Script na linguagem Python para quantificação do Questionário de Experiência na Direção.

```
# DRIVING EXPERIENCE QUESTIONNAIRE (Lehtonen et al., 2014)
# Script elaborado por Vinicius de Paula Rodrigues;
# Objetivo: Calcular a experiência de motoristas com base na frequência e distância
#percorrida com o carro;
#
# Categorização com base no Driving Experience Questionnaire
# Motoristas novatos = Driving Experience menor ou igual a 5.000 km
# Motoristas experientes = Driving Experience maior ou igual a 30.000 km
#
# Equação do Driving Experience (DE):
# Driving Experience = [((Q2 * 4) * 12 * Q1 * Q3) + (Q4 * Q5)]

Q1 = float(input("Há quanto tempo você dirige semanalmente? "))
Q2 = float(input("Quantos dias por semana você costuma dirigir um carro? "))
Q3 = float(input("Quantos quilômetros você costuma dirigir por dia? "))
Q4 = float(input("Mensalmente, com que frequência você tem conduzido um carro na
rodovia? "))
Q5 = float(input("Quantos quilômetros você costuma dirigir durante uma viagem dessas? "))

# Cálculo da Experiência de Direção
DE = [((Q2 * 4) * 12 * Q1 * Q3) + (Q4 * Q5)]
print("Sua experiência de direção é: ", DE)
```

APÊNDICE E – Dados da pupilometria de um participante com a sigla LAA