

MESTRADO INTEGRADO EM PSICOLOGIA
ÁREA DE PSICOLOGIA CLÍNICA E DA SAÚDE

Preditores neuropsicológicos de processos de tomada de decisão económica em idosos saudáveis

Joana Margarida Ribeiro de Paiva Gouveia

M

2021



Universidade do Porto
Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação

**PREDITORES NEUROPSICOLÓGICOS DE PROCESSOS DE TOMADA DE
DECISÃO ECONÓMICA EM IDOSOS SAUDÁVEIS**

Joana Margarida Ribeiro de Paiva Gouveia

Outubro 2021

Dissertação apresentada no Mestrado Integrado em Psicologia, área de Psicologia Clínica e da Saúde, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto, orientada pelo Professor Doutor *Fernando Barbosa* (FPCEUP).

AVISOS LEGAIS

O conteúdo desta dissertação reflete as perspectivas, o trabalho e as interpretações do autor no momento da sua entrega. Esta dissertação pode conter incorreções, tanto conceptuais como metodológicas, que podem ter sido identificadas em momento posterior ao da sua entrega. Por conseguinte, qualquer utilização dos seus conteúdos deve ser exercida com cautela.

Ao entregar esta dissertação, o autor declara que a mesma é resultante do seu próprio trabalho, contém contributos originais e são reconhecidas todas as fontes utilizadas, encontrando-se tais fontes devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção de referências. O autor declara, ainda, que não divulga na presente dissertação quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor ou de propriedade industrial.

Agradecimentos

Este trabalho fez parte de um projeto financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT; NORTE-01-0145-FEDER-029435; PTDC/PSI-GER/29435/2017) pelo que agradeço à FCT e aos investigadores do referido projeto a oportunidade que me foi dada para desenvolver este tema.

A caminhada até aqui não seria possível sem a contribuição de muitas pessoas ao longo destes anos, espero que a vida vos sorria.

Ao meu orientador, Professor Fernando Barbosa, pelo constante apoio, simpatia e disponibilidade, mesmo nesta época pandémica tão caótica. Assim como pela tranquilização neste processo tão turbulento e pelas sugestões constates de melhoria.

À Carina que quando o tempo foi escasso me ajudou no tratamento e análise dos dados. Ademais, à Carina e à Inês por ouvirem as minhas dificuldades e ajudarem no que fosse possível. À Prune pela ajuda na tradução do resumo para francês.

A todas as minhas amigas que me proporcionaram chegar aqui, obrigada por me ouvirem a desesperar e por me confortarem, espero continuar a ter-vos comigo.

Em especial, Teresa, obrigada pelas mensagens diárias em vários idiomas e temas que só tu poderias, obrigada pelas videochamadas, por me ouvires e pelo apoio. Maria, obrigada pelas videochamadas e companhia, obrigada por não me deixares desanimar. Leonor, a ti um especial obrigada, minha companheira de caminhada, obrigada pelo apoio, pelas palavras, pelo voto de confiança e pela tua disponibilidade total nesta fase tão importante e desafiante. AP e Ritinha, meu *pack* e tradutora pessoal, uma grande obrigada pelo ombro amigo e a ajuda constante, pelas conversas na faculdade e pelos devaneios filosóficos. Sem todas vocês este percurso não faria sentido.

À mentoria, às professoras, aos mentores e aos meus mentorados, a todos eles! A esta segunda casa que tanto amo e que tanto me ensinou! Vou levar-vos no meu coração para sempre. Meus queridos mentorados, obrigada por me deixarem fazer parte da vossa caminhada, serei vossa mentora até onde me permitirem.

No final, como os últimos são os primeiros, obrigada família pais e irmãos. Mãe, Pai, André e Kika, eu não conseguiria sem vocês, obrigada pelo apoio e confiança. Quando eu não a tinha, tinham-na vocês, obrigada pelo carinho e pela paciência! Não há palavras para descrever o vosso apoio.

Sofia, minha eterna amiga, esta tese é para ti, obrigada por me tornares quem sou hoje. Até sempre.

Resumo

O envelhecimento caracteriza-se por défices cognitivos em certas funções e por um risco acrescido de progressão para o défice cognitivo ligeiro. Para além da neurocognição, também a cognição social aparenta estar afetada. Diversos estudos comprovam este declínio nas funções cognitivas e sociais com a idade, procurando compreender a relação entre elas. Contudo, a tomada de decisão em contexto social é um domínio ainda pouco estudado.

O presente estudo pretende investigar o efeito do envelhecimento e da neurocognição em resultados neurofisiológicos e comportamentais obtidos durante a realização de uma tarefa de decisão económica em contexto social. Para tal, um grupo de idosos foi avaliado através de testes de inteligência fluida e cristalizada, cujos resultados se correlacionaram com potenciais relacionados com eventos (ERPs) conhecidos como correlatos neuronais do processamento do reforço/*feedback* (*Feedback-Related Negativity* - FRN e P3). Estes ERPs foram induzidos pelo evento de *feedback* da *Monetary Incentive Delay Task* (e-MID), adaptada a um contexto de jogo social. As correlações significativas entre os três tipos de medidas, neurocognitivas, neurofisiológicas e comportamentais, foram posteriormente exploradas através de modelos de regressões.

Os resultados demonstraram que a capacidade de raciocínio abstrato, avaliado pelo *Test of Non-verbal Intelligence* – 4, foi preditor significativo do número de respostas dentro do tempo (*hits*) e da amplitude de P3. O conhecimento cristalizado, avaliado pelo subteste de vocabulário da *Wechsler Adult Intelligence Scale III* foi um preditor significativo do tempo de reação. Finalmente o número de erros perseverativos, avaliados pelo *Wisconsin Card Sorting Test*, foi um preditor significativo da amplitude do FRN. Estes resultados foram inconsistentes com a escassa literatura nesta área, mas permitirão gerar hipóteses a ser testadas em estudos futuros. Especificamente, poderão revelar que um melhor desempenho cognitivo poderá prever um melhor desempenho em tarefas de decisão económica em contexto social, bem como um processamento neuronal melhorado de eventos de *feedback*.

Abstract

Ageing is characterized by cognitive deficits in certain functions and an increased risk of progression to mild cognitive impairment. In addition to neurocognition, social cognition also appears to be affected. Several studies prove this difficulty in cognitive and social functions, seeking to understand the relationship between them. However, decision-making in a social context is an area with a few studies.

The present study aims to investigate the effect of ageing and neurocognition on neurophysiological and behavioral outcomes obtained during the performance of an economic decision task in a social context. For this, a group of elderly people was assessed through tests of fluid and crystallized intelligence, whose results were correlated with event-related potentials (ERPs) known as neuronal correlates of reinforcement/feedback processing (Feedback-Related Negativity - FRN and P3). These ERPs were induced by the feedback event of the Monetary Incentive Delay Task (e-MID), adapted to a social game context. Significant correlations between the three types of measures, neurocognitive, neurophysiological and behavioral, were subsequently explored using regression models.

The results showed that abstract reasoning ability, assessed by the Test of Non-verbal Intelligence - 4, was a significant predictor of the number of within-time responses (hits) and the amplitude of P3. Crystallized knowledge, assessed by the vocabulary subtest of the Wechsler Adult Intelligence Scale III was a significant predictor of reaction time. Finally, the number of perseverative errors, assessed by the Wisconsin Card Sorting Test, was a significant predictor of FRN amplitude. These results were inconsistent with the scarce literature in this area, and will allow generating hypotheses to be tested in future studies. Specifically, they may reveal that better cognitive performance may predict enhanced neuronal processing of feedback events and better decision-making in a social context.

Résumé

Le vieillissement se caractérise par des déficits cognitifs dans certaines fonctions et un risque accru de progression vers une déficience cognitive légère. En plus de la neurocognition, la cognition sociale semble également être affectée. Plusieurs études confirment ce déclin des fonctions cognitives et sociales avec l'âge et cherchent à comprendre la relation qui les unit. Cependant, la prise de décision dans un contexte social est un domaine qui a été peu étudié.

La présente étude vise à rechercher l'effet du vieillissement et de la neurocognition sur les résultats neurophysiologiques et comportementaux obtenus lors de la réalisation d'une tâche de prise de décision économique dans un contexte social. Pour cette finalité, un groupe de personnes âgées a été évalué au moyen de tests d'intelligence fluide et cristallisée, dont les résultats ont été mis en corrélation avec des *Event-Related Potentials* (ERP) connus comme des corrélats neuronaux du traitement de renforcement/rétroaction (*Feedback-Related Negativity* - FRN et P3). Ces ERPs ont été induits par l'événement de rétroaction de la *Monetary Incentive Delay Task* (e-MID), adaptée à un contexte de jeu social. Les corrélations significatives entre les trois types de mesures, neurocognitives, neurophysiologiques et comportementales, ont ensuite été explorées à l'aide de modèles de régression.

Les résultats ont montré que la capacité de raisonnement abstrait, évaluée par le *Test of Non-verbal Intelligence - 4*, était un prédicteur significatif du nombre de réponses dans le temps (*hits*) et de l'amplitude de P3. La connaissance cristallisée, évaluée par le subtest de vocabulaire *Wechsler Adult Intelligence Scale III*, était un prédicteur significatif du temps de réaction. Finalement, le nombre d'erreurs persévérantes, évalué par le *Wisconsin Card Sorting Test*, était un prédicteur significatif de l'amplitude du FRN. Ces résultats sont en contradiction avec la rareté de la littérature dans ce domaine, mais ils permettront de générer des hypothèses à tester dans des études futures. Plus précisément, ils peuvent révéler qu'une meilleure performance cognitive peut prédire une meilleure performance dans les tâches de prise de décision économique dans un contexte social, ainsi qu'un meilleur traitement neuronal des événements de rétroaction.

Índice

Índice de tabelas	viii
Índice de figuras	viii
Lista de abreviaturas	ix
Introdução	10
Metodologia.....	22
1. Participantes.....	22
2. Materiais e Instrumentos.....	23
2.1. Questionário demográfico	23
2.2. <i>Montreal Cognitive Assessment</i> (MoCA)	23
2.3. <i>Wisconsin Card Sorting Test</i> (WCST)	24
2.4. <i>Test of Nonverbal Intelligence – 4</i> (TONI-4)	24
2.5. <i>Wechsler Adult Intelligence Scale III</i> (WAIS-III)	25
2.6. Tarefa experimental.....	25
3. Procedimento	28
Resultados.....	30
1. Estatística Descritiva.....	30
2. Estatísticas correlacionais	32
3. Análise da capacidade preditiva das medidas de desempenho comportamental	33
Discussão	37
Principais conclusões.....	42
Referências	43
Anexos	48

Índice de tabelas

Tabela 1: Resultados nas medidas neuropsicológicas (pontuações diretas)	31
Tabela 2: Resultados nas medidas neurofisiológicas (em μV).....	31
Tabela 3: Resultados nas medidas comportamentais da tarefa experimental (e-MID)	32
Tabela 4: Matriz das correlações significativas.....	33

Índice de figuras

Figura 1: Esquematização da tarefa experimental e-MID	27
Figura 2: Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre o subteste de vocabulário WAIS-III e o TR total.....	34
Figura 3: Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre o subteste de vocabulário WAIS-III e o TR de ganho	34
Figura 4: Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre o subteste de vocabulário WAIS-III e o TR de perda	35
Figura 5: Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre a pontuação bruta do TONI-4 e o número de hits.....	35
Figura 6: Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre a pontuação bruta do TONI-4 e a amplitude média de P3 induzida pelo <i>feedback</i> de não-ganho	36
Figura 7: Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre os erros perseverativos do WCST e a amplitude média de FRN induzida pelo <i>feedback</i> de perda.....	37

Lista de abreviaturas

CNV - Variação Contingencial Negativa
DAT - Demência de Alzheimer
DCL - Défice Cognitivo Ligeiro
EEG – Eletroencefalográficos
e-MID - *Monetary Incentive Delay Task* com eletroencefalografia
ERP - Potenciais Relacionados com Eventos
FRN - *Feedback-Related Negativity*
ISI - Intervalo Interestímulo
MMN - *Mismatch Negativity*
MoCA - *Montreal Cognitive Assessment*
TMT - *Trial Making Test*
ToM - Teoria da Mente
TONI-4 - *Test of Nonverbal Intelligence – 4*
TR - Tempo de Reação
WAIS-III - *Wechsler Adult Intelligence Scale III*
WAIS-R - *Wechsler Adult Intelligence Scale – Revised*
WASI - *Wechsler Abbreviated Scales of Intelligence*
WCST - *Wisconsin Card Sorting Test*
WIS - *Wechsler Intelligence Scale*
WMS - *Wechsler Memory Scale*

Introdução

O envelhecimento está associado a um declínio de várias funções cognitivas e ao risco de incidência/progressão da demência de Alzheimer ou outras patologias (Hedden & Gabrieli, 2004; Shea & Villeda, 2020). Esta progressão, normalmente lenta, sugere que demências como a de Alzheimer afetam cérebros envelhecidos com vulnerabilidade para as mesmas (Shea & Villeda, 2020). O período de velhice está, então, muito associado à neuropatologia, com um declínio de várias funções cognitivas superior ao esperado a sinalizar um possível quadro de défice cognitivo ligeiro (DCL, Bora & Yener, 2017; Díaz-Mardomingo et al., 2017). Este défice é caracterizado por um declínio na função cognitiva, afetando habitualmente a memória, com manutenção da funcionalidade nas atividades de vida diária, pelo que é comumente considerado um estado incerto, de transição entre o envelhecimento saudável e a demência (Bora & Yener, 2017; Gregorio, 2018; Petersen et al., 1997; Portugal, n.d.). De referir que com o DSM-5, o DCL passou a ser concebido sob a forma Perturbação Neurocognitiva Ligeira (*mild neurocognitive disorder*), muito embora o primeiro seja melhor perspectivado como uma subentidade da última (Geda & Nedelska, 2012).

Mesmo sem qualquer tipo de patologia associada, o envelhecimento relaciona-se com alterações nas bases neuronais da cognição (Hedden & Gabrieli, 2004). Com efeito, o envelhecimento afeta não só o desempenho e as funções cognitivas, mas também a estrutura, a função e a neurobiologia do cérebro (Hedden & Gabrieli, 2004). Contudo, este declínio das funções cognitivas não ocorre de igual forma em todas as funções e processos mentais (Machado, 2021; Shafto et al., 2020; Shea & Villeda, 2020). Estes défices nas funções cognitivas encontram-se normalmente na criação de novas memórias de episódios ou factos, na memória de trabalho e na velocidade de processamento. Em contrapartida, ainda se mantém relativamente estável a memória de curto prazo, a memória autobiográfica, o conhecimento semântico e o processamento emocional (Hedden & Gabrieli, 2004). Isto mostra que o envelhecimento tem efeitos distintos sobre os sistemas neuronais que asseguram as várias capacidades cognitivas (Hedden & Gabrieli, 2004). Liana Machado (2021) relata que já são evidentes declínios em certas funções cognitivas por volta dos 30 anos. Todavia, estudos comportamentais identificaram pouca evidência de declínio devido à idade antes dos 60 anos (Hedden & Gabrieli, 2004). Para além dos défices nas funções cognitivas acima referidas, que têm sido amplamente estudados, a investigação mais recente

mostra que a cognição social pode estar também afetada (Arioli et al., 2018; Fernandes et al., 2021).

O DSM-5 incluiu a cognição social como um dos seis fatores de funcionamento neurocognitivo que se encontram deficitários em diversas patologias, enaltecendo a importância de estudar a mesma (Arioli et al., 2018). Nas doenças neurodegenerativas a cognição social tende a mostrar-se deficitária, ainda que tais défices não sejam considerados centrais, nem de expressão típica (Arioli et al., 2018). Esta importância aumenta dada a relevância das interações sociais durante o envelhecimento saudável, considerando que os idosos que participam mais em grupos de convivência apresentam uma melhor qualidade de vida, maior capacidade cognitiva e ausência ou redução de sintomas depressivos comparados com os seus pares socialmente menos envolvidos (Pereira et al., 2016). Além disso, verificou-se em populações clínicas que os défices na cognição social têm um impacto prejudicial no funcionamento social e na tomada de decisões (Fernandes et al., 2021).

A cognição social é o que nos permite compreender e interpretar o comportamento dos outros, indo desde a descodificação da informação social e criação de inferências sobre o pensamento dos outros, à tomada de decisão baseada no contexto social (Arioli et al., 2018). Arioli e colaboradores (2018) dividiram a cognição social em três componentes, designadamente: (a) a perceção social; (b) a compreensão social; e (c) a tomada de decisão em contexto social. A primeira, comumente estudada pelo processamento de faces humanas, engloba tarefas que implicam a identificação de faces, de expressões faciais de emoção, ou da direção do olhar. A segunda é usualmente estudada através de tarefas que avaliam a Teoria da Mente (ToM), definindo-se esta como a capacidade para inferir estados mentais dos outros, como crenças, desejos ou intenções, de forma a prever e compreender o seu comportamento. A ToM é fundamental para o comportamento social, na medida em que a descodificação dos estados mentais dos outros permite orientar o comportamento em sociedade. Por último, a tomada de decisão em contexto social, escassamente estudada, baseia-se em tarefas inspiradas na teoria dos jogos, tais como o ultimato (*Ultimatum*), o ditador (*Dictator*), e os jogos de confiança (*Trust games*). Para mais informação sobre estas tarefas ver, por exemplo, Arioli e colaboradores (2018).

Numa revisão de Fernandes e colaboradores (2021) discutem-se os principais *insights* sobre os efeitos do envelhecimento na identificação emocional, na ToM e na perceção social, apresentadas como componentes da cognição social. A capacidade de identificação emocional é mais estudada no envelhecimento a partir de expressões faciais e, em comparação com os adultos mais jovens, verificou-se que os idosos são menos precisos na identificação da raiva, medo, tristeza e surpresa. Mostram uma ligeira dificuldade na

identificação da felicidade, mas nenhuma dificuldade para identificar o desgosto. Contudo, os idosos parecem envolver recursos neuronais adicionais na identificação de expressões faciais de emoção, como demonstrado por estudos com potenciais relacionados com eventos (ERP). Estas alterações neurofisiológicas parecem ocorrer gradualmente ao longo da vida, acompanhadas de alterações na estratégia de análise/identificação das emoções, que nos idosos se focam na metade inferior da face (Arioli et al., 2018; Fernades et al., 2021).

Já na ToM, também foi demonstrado que os idosos têm pior desempenho do que os jovens adultos no domínio cognitivo e afetivo, e nas modalidades visual, verbal, com estímulos estáticos ou dinâmicos (Fernades et al., 2021). Especificamente, têm pior desempenho na atribuição de falsas crenças e na compreensão dos estados mentais dos outros em cenários sociais. Adicionalmente, resultados de neuroimagem mostram que os idosos compensam os défices específicos na ToM recorrendo a competências gerais de processamento cognitivo (Fernades et al., 2021). Esta descoberta está de acordo com a hipótese de compensação, que propõe que os idosos compensam perdas neuroestruturais através do recrutamento de outras regiões neuronais. Além dos mecanismos de compensação neurocognitiva, os resultados também mostraram que os idosos têm um desempenho semelhante aos jovens adultos na identificação de gafes ou erros em comportamentos sociais quando estão suficientemente motivados para a tarefa e um desempenho mais fraco sem esta motivação (Fernades et al., 2021). Assim, este conjunto de resultados pode sugerir que o desempenho inferior dos idosos em relação aos jovens adultos nas tarefas de ToM pode dever-se não só a uma diferença efetiva nestas capacidades, mas também à ausência ou menor motivação dos idosos para a realização de tarefas de avaliação das mesmas. Por este tipo de razões, a literatura neste campo parece mostrar um défice geral na ToM em participantes idosos, mas os resultados não podem considerar-se robustos.

A perceção social dos idosos também pode ser mudada pela motivação, à semelhança do efeito que foi encontrado na ToM. Idosos dependem mais dos resultados e menos das intenções quando julgam as ações prejudiciais. Também tomam mais decisões favorecendo interesses sociais em detrimento dos pessoais e atribuem traços mais positivos quando analisam traços de personalidade sobre si próprios ou indivíduos próximos, sendo mais lentos do que os jovens a atribuir traços negativos. Acresce que os idosos prestam mais atenção à informação negativa sobre traços morais, são facilmente influenciados por traços que possam afetar afetivamente as interações sociais, não dão tanta importância a informação que contradiz as suas primeiras impressões e mostraram-se menos precisos do que os jovens adultos a avaliar os danos como intencionais ou acidentais. Deste modo, a literatura sobre a

percepção social e o envelhecimento é complexa e multidimensional, apresentando resultados altamente inconsistentes (Fernades et al., 2021).

Em suma, a revisão acima sumariada salienta que o envelhecimento pode afetar todos os domínios da cognição social, mesmo na presença de um desempenho comportamental preservado ou, até, melhorado (Fernades et al., 2021). Também ainda não é claro como o efeito do envelhecimento numa componente pode influenciar o desempenho nas restantes.

Deste modo, tanto a cognição social, as funções cognitivas e a tomada de decisão não só estão afetadas nos quadros de demência (Arioli et al., 2018; Hedden & Gabrieli, 2004) como também parecem estar afetadas no envelhecimento saudável (Arioli et al., 2018; Di Rosa et al., 2017; Fernandes et al., 2018, 2019; Hedden & Gabrieli, 2004; Kardos et al., 2017; West et al., 2014), mas a tomada de decisão em contexto social ainda é pouco caracterizada.

O declínio cognitivo na população idosa tem sido estudado tendo em conta o seu desempenho em instrumentos de avaliação ou em tarefas comportamentais que fornecem medidas das diversas funções cognitivas ou da cognição social. Todavia, com o passar do tempo, começaram-se a utilizar técnicas como a eletroencefalografia, doravante EEG, de forma a estudar a influência do envelhecimento nas variáveis neurofisiológicas correlatas de tarefas comportamentais. A extração de ERP do sinal EEG permite complementar os dados comportamentais com dados neurofisiológicos. Esta técnica não invasiva permite estudar a atividade cerebral a partir da eletroencefalografia e identificar a atividade específica de certas áreas do cérebro quando o indivíduo é exposto a determinados estímulos, podendo estes ser internos ou externos. A resposta cerebral a esses estímulos é extraída sob a forma de sequências de ondas que traduzem variações de potencial, podendo as mesmas ser positivas ou negativas, com picos de amplitude a ocorrerem em tempos de latência conhecidos. A nomeação destes potenciais cerebrais é geralmente alfanumérica, dependendo das suas características: em regra, inicia-se com a letra “N” se a onda for negativa ou com “P” se a onda for positiva e segue-se um número que representa a latência típica do pico de amplitude da onda em causa, em milissegundos (por exemplo P300), ou a sua ordem na sequência de ondas da mesma polaridade (por exemplo, P3). No entanto, por vezes recorre-se a outras designações, que indicam os fenómenos a que as ondas estão associadas, como é o caso de FRN (*Feedback-Related Negativity*) que designa o potencial cerebral negativo que surge de forma associada à ocorrência do *feedback* fornecido às respostas do participante.

Tal como nas capacidades cognitivas, vários estudos encontraram diferenças nos ERP em idosos quando comparados com população mais jovem, pelo que tais diferenças aparentam dever-se ao envelhecimento (Daffner et al., 2011; Fjell et al., 2007; Foster et al., 2013; Ito et al., 2006; Kader et al., 2015; MacDonald et al., 2006; Saliasi et al., 2013;

Walhovd & Fjell, 2002). Os estudos que analisam a relação entre as funções cognitivas (tendo em conta o desempenho em instrumentos de avaliação ou em tarefas experimentais que fornecem medidas neuropsicológicas) e as medidas neurofisiológicas (tipos de ondas e ERP) em idosos, tanto os comparam com jovens adultos ou adultos saudáveis, como com idosos com alguma patologia, nomeadamente por Doença de Alzheimer, ou até com todos os grupos referidos. Alguns destes estudos investigaram em específico uma só função ou processo cognitivo, enquanto outros investigaram vários domínios da cognição. Porém, relatam-se de seguida somente resultados sobre a alteração dos ERP com o envelhecimento e suas eventuais relações com medidas neuropsicológicas, dado ser este o nosso objeto de interesse. Por exemplo, Gajewski e Falkenstein (2014) estudaram a memória de trabalho, caracterizada como deficitária no envelhecimento, de forma a conhecer as bases neuronais e os mecanismos de memória de trabalho relacionadas com a idade (Gajewski & Falkenstein, 2014). Para isto utilizaram ERP e uma tarefa experimental *n-back* na condição *0-back* em que os participantes teriam de responder quando viam a letra X e não responder quando apareciam outras letras, e na condição *2-back* onde teriam de responder quando a letra fosse igual à apresentada duas imagens atrás. Compararam idosos com jovens, obtendo os idosos, ao nível comportamental, um tempo de reação (TR) mais lento, mais omissões e mais falsos alarmes em comparação com os jovens na condição *2-back*, sem qualquer diferença de deteção na condição *0-back*. Em acréscimo, denotou-se um atraso de N2, P3a e P3b associado à lentificação de resposta, uma reduzida amplitude de P3a frontal na condição *2-back* e uma atenuação geral da amplitude de P3b nos idosos. A redução do processo atencional (comprovada por P3a), a seleção tardia de resposta (comprovada por N2) e a atenuação dos recursos cognitivos (comprovada por P3b) predizem as omissões e falsos alarmes nos idosos (Gajewski & Falkenstein, 2014).

Daffner e colaboradores (2011) também estudaram as diferenças relacionadas com a idade na memória de trabalho através do desempenho numa tarefa experimental com extração de ERP. Jovens e idosos realizaram uma tarefa *n-back* verbal na modalidade visual com três níveis de dificuldade (*0-back*, *1-back* e *2-back*). Cada um dos grupos (jovens e idosos) foi dividido em desempenho alto ou baixo consoante o desempenho na tarefa de dificuldade *2-back*. Os autores focaram-se em três ERP: o P3; o N2; e onda lenta positiva (*positive slow wave*) que aparecem no primeiro segundo após o estímulo. Ao nível comportamental, os jovens obtiveram TR mais rápidos quando comparados com os idosos, tendo esta diferença sido significativa somente na tarefa de maior dificuldade, *2-back*, sem qualquer diferença nos TR entre grupos de alto e baixo desempenho. Quer os idosos, quer os jovens de baixo desempenho demonstraram défices no processamento inicial - deteção se

a letra exposta era igual à letra n vezes atrás - demonstrado pela amplitude N2 menor nos idosos do que os jovens e, nestes últimos, observou-se uma maior latência de pico nos de baixo desempenho comparativamente com os seus pares de alto desempenho. Em condições de baixa dificuldade, os participantes de alto desempenho parecem ter realizado a tarefa utilizando menos recursos cognitivos e menor TR do que os de baixo desempenho, demonstrado pela menor amplitude e um pico mais precoce de P3. Ademais, os participantes de alto desempenho conseguiram alocar recursos adicionais à tomada de decisões à medida que a dificuldade da tarefa aumentava, contrariamente aos de baixo desempenho. Dentro dos participantes com baixo desempenho, a discrepância entre a dificuldade da tarefa e os recursos disponíveis para a tomada de decisões pode ter contribuído para o seu baixo desempenho, i.e. a dificuldade da tarefa parece ter excedido a capacidade destes, levando a uma insuficiência dos recursos disponíveis para o processo de tomada de decisão, refletida numa diminuição da amplitude de P3. Para a interpretação destes dados é também necessário ter em conta que os idosos com baixo desempenho neste estudo tinham nível elevado de educação e pontuaram acima da média no conjunto dos testes neuropsicológicos realizados (Daffner et al., 2011).

Na mesma linha, Saliasi e colaboradores (2013) estudaram a associação entre o desempenho numa tarefa experimental *n-back* para medir a memória de trabalho e ERP em jovens adultos e idosos. A tarefa foi administrada na condição 0 e 1-*back* e em duas versões: *identidade*, na qual tinham de identificar a letra; e *integrada*, na qual tinham de atender à localização da letra e à identificação da mesma (Saliasi et al., 2013). O desempenho nesta tarefa de memória de trabalho é caracterizado por um aumento no TR e uma diminuição de acertos da condição 0-*back* para a 1-*back*. Com o aumento da carga cognitiva, os idosos demonstraram um maior aumento no TR e, em geral, um desempenho menos eficiente do que os jovens adultos. Além disso, verificou-se que a amplitude de P3 nos idosos era menor nos locais parietais e maior nos frontais, em comparação com os jovens adultos. A relação entre o desempenho e a amplitude P3 dependia da idade e da localização espacial dos elétrodos. A maior amplitude parietal do P3 em jovens adultos correlacionou-se com um desempenho mais eficiente, enquanto nos idosos, uma maior amplitude P3 na linha média correlacionou-se com um desempenho menos eficiente. Na condição 1-*back*, os jovens adultos tiveram uma amplitude P3 mais elevada e um desempenho comportamental pior em comparação com a 0-*back*, sugerindo que as exigências de atenção eram mais elevadas na condição 1-*back*. Já os idosos tiveram maiores latências P3 e uma amplitude P3 mais baixa em locais parietais. O P3 parietal atrasado e de amplitude reduzida em idosos foi interpretado como evidência de declínio cognitivo devido a alterações neuronais em regiões cerebrais

posteriores, consistente com o desempenho menos eficaz do que o dos jovens adultos. A associação entre a amplitude P3 e o desempenho foi mais pronunciada na condição mais complexa, ou seja, na versão *integrada* da tarefa. Os jovens adultos tiveram uma maior amplitude P3 na versão *integrada* do que na versão *identidade*. Contudo, os idosos mostraram uma diferença menor na amplitude de P3 entre as versões na condição *0-back*. Além disso, apesar das diferenças no TR na condição *1-back*, foram igualmente precisos em ambas as versões da tarefa.

Outro estudo, de Foster e colaboradores (2013), visou investigar a capacidade das funções cognitivas para prever a variância do processamento de informações de tempo através de medidas pré-atencionais em idosos, medido por uma onda de ERP auditivos designada *Mismatch Negativity* (MMN). Esta é uma onda de diferença entre a resposta cerebral a um estímulo que ocorre ao fim do intervalo interestímulo (ISI) esperado e a ausência desse estímulo após o ISI (Foster et al., 2013). De forma geral, a memória verbal e as funções executivas foram preditoras significativas da variância da amplitude média de MMN. Em específico, os preditores foram o número de movimentos em excesso no teste *Tower of London*, que avalia o planeamento, e o número de palavras evocadas no *Rey Auditory Verbal Learning Test*, que avalia a memória verbal. Em suma, o processamento pré-atencional, aqui avaliado pela amplitude média de MMN, foi significativamente relacionado e previsto por funções cognitivas associadas aos córtices temporais e frontais, ou seja, a memória verbal e as funções executivas.

Com o intuito de explorar as características do défice da cognição visual, Ito e colaboradores (2006) compararam o desempenho de grupos de envelhecimento normal e patológico no teste de STROOP e o P300 numa tarefa experimental de visão de cores. Nesta tarefa, os participantes tinham de carregar num botão quando vissem figuras geométricas com a cor vermelha (Ito et al., 2006). Participaram adultos e idosos saudáveis, bem como doentes com demência de Alzheimer (DAT), tendo-se observado alterações na latência e amplitude do P300 e um aumento do efeito Stroop relacionados com a idade. Foi encontrada uma relação significativa entre os tempos de leitura dos cartões Cor e a latência do P300 nos grupos de adultos e de idosos saudáveis. As alterações devidas ao envelhecimento foram exibidas pelo aumento das latências e pela diminuição das amplitudes do P300 e do N100. Contudo, o grupo DAT obteve significativamente maior latência e menor amplitude de P300 quando comparado com os seus pares saudáveis, não havendo diferenças para a latência e amplitude de N100. Ademais, no teste de Stroop, foram observadas diferenças entre o grupo de adultos e de idosos saudáveis no tempo de leitura, sem diferenças significativas entre os últimos e os idosos com DAT. Desta forma, pode-se verificar a utilidade do P300 para prever

o prognóstico de um ligeiro défice cognitivo, mas a amostra reduzida deste estudo não permite conclusões definitivas, nem generalizáveis.

Outro estudo teve como objetivo avaliar a relação entre os potenciais cerebrais P3a/P3b, a espessura cortical e o funcionamento cognitivo no envelhecimento (Fjell et al., 2007). Um córtice mais espesso foi associado a uma menor latência, tanto para P3a como para P3b, enquanto um córtice mais fino foi associado a uma amplitude mais elevada de P3a e P3b em áreas cerebrais específicas, mas a correlação entre a espessura cortical e os parâmetros de P300 era geralmente fraca em jovens. Já nos idosos, houve correlação positiva entre amplitude e a latência de P3a e a espessura cortical, com o efeito da latência a revelar-se muito mais pequeno do que o da amplitude. A latência de P3b correlacionou-se negativamente com a espessura, mas a amplitude não apresentou qualquer relação. Parece que o P300 é sensível a alterações na espessura do córtice cerebral dependentes da idade, mas esta relação dependerá de características ainda não observáveis em jovens adultos. Outro resultado deste estudo que parecia interessante é que o P3a mostrou-se mais relacionado com a função executiva e o P3b com a função geral fluida, mas esta relação tornou-se não significativa após o controlo da idade. Em síntese, os resultados representam provas de uma relação entre a espessura do córtice orbitofrontal e as capacidades cognitivas fluidas relacionadas com a latência de P3b, e entre o córtice temporoparietal e as capacidades executivas relacionadas com amplitude de P3a.

O estudo de Kader e colaboradores (2015) recorreu ao P300 e à Variação Contingencial Negativa (CNV: N1, P1, N2, e P2) para além de uma bateria de testes de forma a avaliar as funções cognitivas em idosos saudáveis. A tarefa experimental de indução do P300 consistia em ouvir uma série de tons idênticos e clicar o mais rapidamente possível quando ouvisse um tom não frequente (tarefa *oddball*). Observou-se uma correlação positiva entre a idade e o TR, mas não entre a idade e os parâmetros de P300. Adicionalmente, em relação às pontuações dos subtestes da *Wechsler Intelligence Scale* (WIS), verificou-se uma correlação negativa entre a escala de desempenho e o TR. Não foi identificada qualquer relação entre os parâmetros de P300 e as pontuações dos subtestes da *Wechsler Memory Scale* (WMS) ou do *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST). Quanto ao CNV, foi observada uma correlação negativa entre a idade e a latência das ondas N2 e P2, não se encontrando outros resultados significativos. Observou-se uma correlação negativa entre a latência da onda N2 e a escala verbal, consistente com um melhor desempenho na WIS. Em conclusão, os resultados deste estudo sugerem que os instrumentos de avaliação devem ser complementados com medidas neurofisiológicas na avaliação das alterações cognitivas que ocorrem com o envelhecimento normal (Kader et al., 2015).

O artigo de Walhovd e Fjell (2002) estudou medidas neuropsicológicas - *Wechsler Abbreviated Scales of Intelligence* (WASI) e o subteste de sequência de dígitos da *Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised* (WAIS-R) - e medidas neurofisiológicas - o P3 - através de uma tarefa auditiva de bola rara (*Oddball*) em pessoas saudáveis com idades compreendidas entre os 21 e 94 anos. Verificou-se que a latência e a amplitude de P3, em especial a amplitude de pico, se correlacionava fortemente com a idade. A correlação entre a amplitude média e a idade foi negativa em janelas temporais iniciais, contudo positiva em janelas temporais posteriores, acontecendo uma mudança nesta relação ao longo de 250-600 ms. Quanto à latência do P3, os autores calcularam um período de 1.2 ms de desaceleração por cada ano de vida. Em resumo, tanto a latência como a amplitude podem ser utilizadas para monitorizar as mudanças no envelhecimento. A latência e a amplitude do pico de P3 correlacionaram-se positivamente com o desenho de blocos, as matrizes e a sequência de dígitos, havendo ainda uma correlação significativa, porém mais fraca do que as outras, entre a latência de P3 e as semelhanças. Em geral, a latência demonstrou as correlações mais fortes, o que realça o importante papel da velocidade de processamento no desempenho cognitivo complexo. Quando a idade é controlada, só a correlação entre a latência de P3 e a sequência de dígitos total e em ordem direta são significativas. Pode-se concluir que o P3 e a função neuropsicológica têm uma base neuronal comum, que se altera com a idade. Em suma, existe uma relação consistente e moderada entre os testes de inteligência fluida, a sequência de dígitos e a amplitude e latência de P3. Globalmente, estas relações são melhor caracterizadas por uma função linear, mas existe uma componente não linear na relação entre a latência de P3 e o desempenho nos testes de inteligência fluida. Com efeito verificou-se que a função da relação do P3 e do funcionamento neuropsicológico com a idade não se altera da mesma forma. A latência de P3 mostra uma mudança linear com a idade, mas nas medidas de inteligência fluida, como as obtidas no desenho de blocos e matrizes, observa-se uma relação não linear. Especificamente, as relações entre o desempenho nos testes de inteligência fluida e a idade são curvilíneas, enquanto as relações entre a latência ou a amplitude P3 e a idade são lineares (Walhovd & Fjell, 2002).

De referir que não é prudente generalizar as conclusões dos estudos acima apresentados, pois os métodos eram diferentes entre si, com tarefas, variáveis e estímulos completamente dispare para medir, por vezes, os mesmos ERP. Adicionalmente, a interpretação dos resultados deverá ser feita com cuidado, pois Ismail e Karwowski (2020), ao analisar 143 artigos, verificaram que a fadiga mental (caracterizada pela descida da atenção com diminuição da vigilância e aumento da sonolência, pelo envolvimento e longo tempo despendido numa tarefa), o limite das capacidades mentais, o esforço mental, o

cansaço visual, as emoções, o *stress*, entre outros, podem modificar os ERP, alterando os seus parâmetros (Ismail & Karwowski, 2020). Em acréscimo, Polich (1996), ao avaliar as variáveis moderadoras de 32 estudos independentes, indica que as características das amostras, dos estímulos e das condições da tarefa contribuem para a alteração significativa na latência do pico P300 que ocorre com a idade (Polich, 1996).

Apesar destas ressalvas, a literatura acima sumariada dá conta de uma alteração dos ERP e das funções cognitivas associada ao envelhecimento, tal como da relação existente entre as variáveis neurofisiológicas e cognitivas. Além disto, os resultados existentes são sugestivos de que as medidas neurofisiológicas podem ser mais precisas e robustas do que as neuropsicológicas nesta diferenciação em função da idade.

No que diz respeito à tomada de decisão, como já referido, a literatura é escassa e estudos envolvendo resultados de ERP são ainda em menor número. Um dos poucos estudos recorrendo aos ERP para investigar a tomada de decisão sob risco no envelhecimento saudável, reporta que o envelhecimento aparenta afetar as fases iniciais e posteriores do processamento do *feedback*, demonstrado por diferenças nas amplitudes do FRN e do P3, respetivamente (Fernandes et al., 2018). Neste estudo de Fernandes e colaboradores (2018), o envelhecimento não parece afetar o FRN no domínio dos ganhos, observando-se um valor mais negativo para *feedback* desfavorável do que para *feedback* favorável independentemente da idade. Porém, no domínio das perdas, os jovens adultos evidenciam um FRN mais amplo após *feedback* favorável do que após *feedback* desfavorável, enquanto os adultos de meia-idade e os idosos apresentam um FRN de amplitude similar. Em relação ao P3, o envelhecimento não parece afetar o domínio da perda, verificando-se amplitudes semelhantes em todos os grupos após *feedback* favorável e desfavorável. Contudo, a amplitude do P3 mostra-se aumentada em jovens adultos e jovens de meia-idade após *feedback* favorável em comparação com desfavorável no ganho, em contraste com idosos que tinham amplitudes similares em ambas as condições (Fernandes et al., 2018). Adicionalmente, demonstrou-se que a amplitude média de FRN induzida pelo *feedback* favorável no ganho, bem como a amplitude média de P3 induzida pelo *feedback* favorável no ganho e pelos dois *feedbacks* na perda estavam positivamente correlacionadas com a pontuação do *INECO Frontal Screening* e dos blocos de Corsi e negativamente correlacionadas com a pontuação do *Trial Making Test* (TMT). A amplitude média de FRN induzida pelo *feedback* desfavorável na perda estava negativamente correlacionada com a pontuação do TMT. Em análises de regressão linear, só a pontuação do TMT se mostrou preditora significativa da amplitude média de P3 induzida pelo *feedback* desfavorável na perda.

Todos estes estudos comparam os idosos com outras populações, estudando as suas diferenças em termos grupais. Contudo, é próprio desta população que o perfil cognitivo de cada indivíduo seja muito díspar. O impacto da idade na cognição pode variar tendo em conta a doença cerebral, o estilo de vida, como a prática de exercício físico ou a prática de uma alimentação saudável, as vivências (Hedden & Gabrieli, 2004; Machado, 2021), a educação, o envolvimento social e a realização de atividades estimulantes (Shafiq et al., 2020). Deste modo, não será de estranhar a grande diversidade cognitiva encontrada nos idosos. Além disto, as variáveis anteriormente apresentadas podem correlacionar-se com a cognição de maneira diferente ao longo da vida (Shafiq et al., 2020).

MacDonald e colaboradores (2006) demonstraram que a relação entre a variabilidade intraindividual no desempenho cognitivo e a idade ao longo da vida é caracterizada por uma função em forma de U. Isto é, enquanto a variabilidade intraindividual vai diminuindo ao longo da infância e adolescência, ao longo da idade adulta esta aumenta concomitantemente com a diminuição do desempenho. Ou seja, os estudos revelam um aumento da variabilidade intraindividual ligada à idade nas respostas aos testes cognitivos e um aumento de défices na atenção, na memória e na linguagem (MacDonald et al., 2006). Devido a esta grande variedade de capacidades cognitivas nos idosos, alguns autores classificaram como superidosos (“SuperAgers”) os que demonstrassem competências de memória semelhantes a participantes de controlo com 20 a 30 anos de diferença (Sun et al., 2016, as cited in Yu et al., 2020). Ademais, Bott e colaboradores (2017, as cited in Yu et al. 2020) utilizaram a nomenclatura de idosos resilientes (“resilient-agers”) para se referirem aos que não demonstrassem um declínio na velocidade de processamento durante 2.5 anos e demonstrassem um desempenho similar aos jovens adultos controlos. Contudo, mais recentemente, Yu e colaboradores (2020) utilizaram a classificação de *supercognição* (“*super-cognition*”) tornando o critério mais robusto. Estes autores encontraram um perfil neurocognitivo de supercognição multidimensional, associando a supercognição aos idosos com um estilo de vida mais ocupado, *stressante* e socialmente isolado durante a meia-idade em comparação com os seus pares de controlo (com nível de cognição normativa; Yu et al., 2020).

Noutro estudo, Fjell e colaboradores (2009) exploraram se a variabilidade intraindividual em medidas neurofisiológicas, comportamentais e em medidas psicométricas da cognição estavam associadas à idade através de uma tarefa experimental de *oddball* visual. Os resultados revelaram uma maior variabilidade no TR com a idade, mas não na latência de P3a/P3b. Com exceção das capacidades verbais, o desempenho em todos os demais domínios neuropsicológicos relacionou-se significativamente com a idade (Fjell et al., 2009). Além disso, verificou-se que a relação entre a variabilidade do TR e a velocidade de

processamento aumentava com a idade, acontecendo o mesmo com a memória de trabalho. A variabilidade da latência de P3a e de P3b encontram-se relacionados com a flexibilidade cognitiva e com o controlo inibitório, aumentando esta relação com a idade. Ademais, a variabilidade da latência de P3a relaciona-se também com a memória de trabalho. Através de uma regressão múltipla, verificou-se que a variabilidade da latência de P3a e P3b partilhavam ambos uma variância única com o funcionamento cognitivo. No entanto, a relação entre o TR e a velocidade de processamento desapareceu. Em suma, o presente estudo indica que existe um aumento da variabilidade do TR no envelhecimento e que essa instabilidade do TR está relacionada com pontuações mais fracas em testes de velocidade, enquanto a variabilidade da latência de P3a/P3b estava relacionada com funções executivas. Além disso, os resultados indicam que a variabilidade intraindividual não é uniforme, sendo única a nível neurofisiológico e comportamental (Fjell et al., 2009).

Desta forma, pode-se perceber que o desempenho cognitivo nos idosos é muito díspar, sendo fundamental uma investigação mais profunda do seu declínio nesta população, para a qual este trabalho contribui.

Existe evidência da associação entre as medidas de várias funções neuropsicológicas e seus correlatos neurofisiológicos, bem como dos efeitos do envelhecimento em tais medidas. Porém, tanto quanto é do nosso conhecimento, ainda escasseiam estudos no envelhecimento saudável ou no DCL que examinem a cognição social e seus correlatos neurofisiológicos, nomeadamente em tarefas experimentais de tomada de decisão económica em contexto social. Assim, o objetivo do presente estudo é acrescentar informação à que já existe, investigando se o desempenho cognitivo de idosos saudáveis se traduz em diferenças de funcionamento neurofisiológico (medido por ERP) e de desempenho numa tarefa de tomada de decisão social. Em concreto, pretende-se averiguar se as medidas neurofisiológicas abaixo explicitadas, enquanto correlatas da cognição social em causa, estão significativamente relacionadas com medidas de desempenho neurocognitivo, podendo tornar-se elegíveis como um método auxiliar de diagnóstico ao DCL. Pretende-se que este estudo exploratório seja o primeiro passo do desenvolvimento de um protocolo de investigação do DCL, testando-o primeiro numa população saudável. Com o intuito de cumprir com este objetivo, recorreu-se à recolha de dados eletroencefalográficos (EEG) durante a realização da *Monetary Incentive Delay Task* (e-MID), que permite investigar a resposta neurofisiológica cerebral ao reforço positivo e negativo durante as fases de antecipação, alvo e de resultado do processamento do reforço numa tarefa de tomada de decisão (Broyd et al., 2012). Para mais informação sobre esta tarefa ver a secção de Metodologia adiante.

Neste estudo investigaram-se o *Feedback-Related Negativity* (FRN) e o P3, dois dos potenciais cerebrais comumente estudados e associados à fase do processamento do reforço após a tomada de decisão. O primeiro é gerado no córtice cingulado e melhor captado na região frontocentral, aproximadamente a 250 ms após o *feedback*, refletindo um processo de aprendizagem de perda ou ganho, mas está particularmente associado ao desempenho negativo. Pensa-se traduzir um sinal de alerta após *feedback* inesperado ou desfavorável, podendo caracterizar desvios de ganhos positivos e negativos (Broyd et al., 2012; Fernandes et al., 2018; Flores et al., 2015; Yang, 2020). O segundo ERP, o P3, surge de forma mais vinculada na região centroparietal, aproximadamente 300-600 ms após o *feedback* e o seu significado funcional traduz-se num nível elevado de ativação, refletindo uma maior atribuição de atenção e de recursos cognitivos a estímulos de maior relevância (Broyd et al., 2012; Fernandes et al., 2018; Yang, 2020). No entanto, este ERP tem interpretações díspares, podendo refletir o aumento do significado motivacional e afetivo tanto de resultados maiores como de resultados positivos, bem como uma maior surpresa após resultados inesperados, indiciando a sua associação a uma frequência subjetiva em detrimento de uma objetiva (Flores et al., 2015). Assim, enquanto o FRN parece ser sensível às violações da expectativa, o P3 parece ser sensível à natureza ativadora do *feedback*.

Apesar de se estudar a tomada de decisão sob risco, é esperado o mesmo padrão de resultados na tomada de decisão em contexto social, o que está a ser examinado no âmbito de uma investigação do Laboratório de Neuropsicofisiologia financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT; NORTE-01-0145-FEDER-029435; PTDC/PSI-GER/29435/2017). Como este trabalho tem um carácter exploratório não se formularam hipóteses, mas estabeleceu-se como objetivo determinar o valor preditivo das medidas neuropsicológicas para as medidas neurofisiológicas e comportamentais resultantes da tarefa e-MID.

Metodologia

1. Participantes

A Amostra foi constituída por um total de 23 idosos saudáveis, nove do sexo masculino (39.1%) e 14 do feminino (60.9%), com idade compreendida entre os 60 e os 79 anos ($M = 67.35$, $DP = 5.19$) e escolaridade vertical compreendida entre os 6 e os 27 anos ($M = 14.26$, $DP = 5.17$).

Foram incluídos idosos que obtivessem uma pontuação igual ou superior a 22 pontos no MoCA (ponto de corte geral para o défice cognitivo ligeiro considerando a totalidade da amostra normativa; Freitas et al., 2011), que tivessem quatro ou mais anos de escolaridade, e que não apresentassem défices sensoriais não corrigidos, antecedentes de lesões cerebrais, perturbações psiquiátricas ou neurológicas, nem consumo de medicação psicotrópica na data da recolha de dados.

De entre 24 idosos recrutados, apenas foi eliminado um da amostra final, por não ter respondido a três dos instrumentos de avaliação neuropsicológica.

O estudo recebeu um parecer favorável da Comissão de Ética da FPCEUP (com a Refª 4-10/2016) e os participantes deram o seu consentimento informado, tendo sido compensados com um voucher de 15€, podendo esse montante aumentar de acordo com o seu desempenho na tarefa de tomada de decisão.

2. Materiais e Instrumentos

O protocolo de avaliação incluiu:

2.1. Questionário demográfico

Questionário destinado à recolha de dados para a caracterização da amostra, contendo questões relativas aos dados sociodemográficos, à lateralidade, à capacidade de audição e visão, à qualidade do descanso que teve na noite antecedente, ao consumo de álcool e drogas, ao historial de doença mental e neurológica e eventuais tratamentos farmacológicos no período do estudo.

2.2. *Montreal Cognitive Assessment (MoCA)*

Este instrumento de rastreio (Nasreddine et al., 2005; versão portuguesa de Freitas et al., 2011) foi utilizado para a avaliação da cognição global, mais especificamente de oito domínios cognitivos: a função executiva; a capacidade visuoespacial; a memória (incluindo a memória de trabalho); a atenção; a concentração; a linguagem; e a orientação temporal e espacial. Aplicável a adultos a partir dos 25 anos e com um tempo de administração de aproximadamente 10-15 minutos, o MoCA tem uma pontuação máxima de 30 pontos, sendo que quanto maior é a pontuação no teste, melhor é o desempenho cognitivo. De acordo com dados normativos portugueses, embora não existam pontos de corte específicos por escalões

etários, considerando a globalidade da amostra normativa as pontuações totais abaixo de 22 são sugestivas de déficit cognitivo ligeiro (DCL).

2.3. *Wisconsin Card Sorting Test (WCST)*

Este instrumento (Heaton et al., 1993) permite avaliar o raciocínio abstrato, o controle cognitivo e a flexibilidade cognitiva, ou seja, a capacidade do indivíduo para mudar as estratégias perante modificações ambientais. Este instrumento de avaliação contém dois baralhos, cada um com 64 cartas contendo figuras geométricas. Estas cartas variam no número (uma, duas, três ou quatro), na cor (vermelho, azul, verde e amarelo) e no tipo de figuras geométricas apresentadas (estrela, triângulo, círculo e cruz). Quatro cartas são apresentadas como modelo e alinhadas à frente do participante: uma com um triângulo vermelho; outra com duas estrelas verdes; outra com três cruces amarelas; e a última com quatro círculos azuis. A tarefa do participante é emparelhar as restantes cartas, uma-a-uma, com uma das cartas modelo, seja pela forma, pela cor, ou pelo número das figuras geométricas, de modo a inferir a regra de emparelhamento que estiver em vigor. A regra de emparelhamento não é divulgada, mas o examinador dirá se a resposta está correta ou não de acordo com a regra estipulada, que o participante terá de descobrir e manter. Após uma série de dez emparelhamentos corretos seguidos, o examinador muda a regra, e a resposta que antes era “certa” passa a “errada”, cabendo ao participante descobrir a nova regra de emparelhamento. O teste começa com a regra de emparelhamento em função da cor das figuras, depois muda para a forma e, por fim, para o número, voltando a repetir novamente a sequência. O teste prossegue até que o participante esgote as cartas ou consiga seis séries de dez emparelhamentos corretos, o que pode demorar 20 a 30 minutos.

As pontuações calculadas são o número de tentativas, o número de erros perseverativos (erros que podiam ser evitados em função do feedback fornecido em respostas anteriores), o número de erros não perseverativos e a aprendizagem conceptual (conjunto de jogadas compostas por três respostas certas seguidas).

2.4. *Test of Nonverbal Intelligence – 4 (TONI-4)*

Este instrumento (Brown et al., 2010) avalia a inteligência fluída, mais propriamente o raciocínio abstrato e a resolução de problemas. Contém duas formas paralelas, A e B, permitindo uma segunda avaliação do indivíduo se necessário. É administrado individualmente e com uma duração de aproximadamente 15 a 20 minutos cada forma. Apresenta-se ao participante uma sequência de figuras abstratas nas quais uma ou mais partes estão em falta. O participante tem de escolher de entre quatro ou seis alternativas a

figura que achar que completa a sequência. A administração é interrompida quando o participante dá três respostas incorretas em cinco itens consecutivos.

A pontuação obtida é calculada a partir do nível de base do participante (item a partir do qual consegue cinco respostas corretas consecutivas) a que se soma o total de respostas corretas até a pessoa cometer três erros. Em adultos com mais de 20 anos saudáveis, o item inicial é o 20. Se a pessoa cometer os três erros antes de ter cinco respostas corretas consecutivas, apresentam-se os itens por ordem decrescente, ou seja, dos mais difíceis para os mais fáceis até a pessoa ter cinco respostas corretas (passando esta a ser o nível de base).

2.5. Wechsler Adult Intelligence Scale III (WAIS-III)

Deste instrumento de avaliação (Wechsler, 1997; versão portuguesa de Rocha, 2008), foram administrados os subtestes de vocabulário e de compreensão para a avaliação da inteligência cristalizada. O subteste de vocabulário contém nove cartões com 33 palavras, sendo pedido ao participante que defina as referidas palavras, que são lidas em voz alta e mostradas pelo examinador. A administração é interrompida após seis insucessos consecutivos. A cotação de cada item pode ser 0, 1 ou 2 pontos, consoante a pessoa evidencia uma resposta claramente errada, uma resposta que, apesar de estar correta, demonstra pobreza de conteúdo, ou uma resposta que demonstre boa compreensão do significado da palavra, respetivamente. Este subteste tem uma pontuação máxima de 66 pontos.

O subteste de compreensão contém 18 questões sobre problemas quotidianos, conceito e regras sociais, sendo pedido que responda oralmente às perguntas. A administração é interrompida após quatro insucessos consecutivos. Nos itens 1 a 3 a pontuação máxima é de 1 ponto, enquanto nos itens 4 a 18 é de 2 pontos, cotadas de acordo com a qualidade e o grau de compreensão expressos. Este subteste tem uma pontuação máxima de 33 pontos.

De referir que o presente estudo fez parte de um projeto de investigação maior, composto por outros instrumentos de avaliação e financiado pela FCT (PTDC/PSI-GER/29435/2017).

2.6. Tarefa experimental

Como já mencionado, como tarefa experimental foi utilizada a e-MID *task* desenhada para avaliar a tomada de decisão sob risco com a recolha simultânea de dados de EEG (Broyd et al., 2012).

Esta tarefa foi programada em E-Prime 2.0 (Psychology Software Tools, Inc., Sharpsburg, PA, USA) e ajustada ao contexto social a fim de avaliar a tomada de decisão

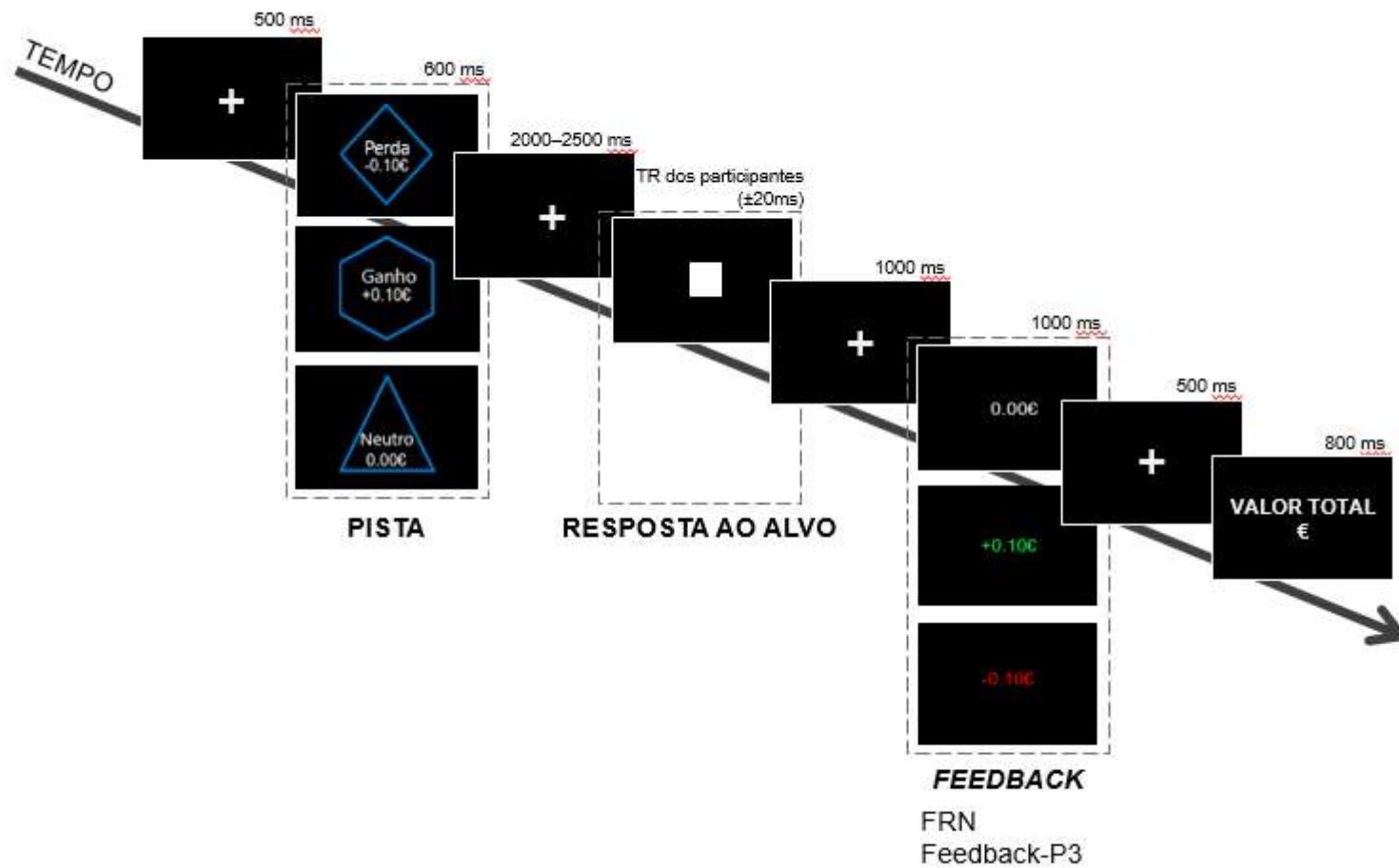
neste âmbito. Concretamente, o participante foi informado que todo o dinheiro que iria ganhar na tarefa seria revertido para um outro participante, da mesma forma que o que aquele ganharia seria para si. Esta tarefa é composta por 150 ensaios. Cada ensaio começa por uma pista representada por três figuras geométricas, apresentada durante 600 ms, que indica a condição que o participante vai decidir naquele ensaio: condição de ganho; de perda; ou neutra (nem perda, nem ganho). Na condição de ganho (assinalada por um hexágono azul) uma resposta suficientemente rápida leva a um *feedback* favorável no qual os participantes ganham 0,10 € (*feedback* de ganho). Uma resposta lenta recebe um *feedback* desfavorável e nenhum dinheiro é ganho (*feedback* de não-ganho). Na condição de perda (assinalada por um losango azul), uma resposta rápida permite um *feedback* favorável e evitar uma perda de 0,10 € (*feedback* de não-perda), enquanto uma resposta lenta leva a um *feedback* desfavorável, originando uma perda de 0,10 € (*feedback* de perda). Na condição neutra (assinalada por um triângulo azul) os participantes recebem sempre um *feedback* de ganho de 0,00 €, independentemente da velocidade de resposta.

Após a figura geométrica que assinala a condição em jogo, segue-se um ponto de fixação (ilustrado por uma cruz, "+", apresentada no centro do ecrã) de duração variável entre 2.0-2.5 segundos. Posteriormente, surge o estímulo-alvo, um quadrado branco, durante aproximadamente 200 ms (a duração depende do desempenho do participante durante as jogadas anteriores da tarefa; ver em baixo). Os participantes são instruídos a responder ao estímulo-alvo o mais rapidamente possível clicando num botão identificado na caixa de respostas, de modo a maximizar o dinheiro que podem ganhar. Após um intervalo de 1000 ms segue-se o *feedback* (com 1 segundo de exposição), de tipo variável: o de ganho é ilustrado por "+0,10 €" a verde; o de perda é ilustrado por "-0,10 €" a vermelho; no caso de não ser de ganho nem de perda apresenta-se "0,00 €" a branco. O ensaio termina com a apresentação do valor total acumulado ganho pelo participante.

A e-MID providencia medidas do desempenho comportamental, tais como o TR aos estímulos, as respostas certas ("*hits*" - responder dentro do tempo estipulado para conseguir um *feedback* favorável) e falhadas ("*misses*" - não responder no tempo estipulado, originando um *feedback* desfavorável).

A dificuldade da tarefa foi ajustada ao longo do tempo, em função do desempenho individual, tornando-se mais fácil após duas respostas malsucedidas (tempo de apresentação do estímulo-alvo aumentado em 20 ms) ou mais difícil após duas respostas consecutivas bem-sucedidas (tempo de apresentação do estímulo-alvo reduzido em 20 ms). Para um melhor entendimento da tarefa a esquematização de um ensaio pode ser consultada na figura 1.

Figura 1
Esquematização da tarefa experimental e-MID



A tarefa experimental é composta por 60 ensaios de perda, 60 de ganho e 30 neutros. Foi dito aos participantes que receberiam um voucher de 15€ no final da sessão de recolha de dados, podendo aumentar esse valor de acordo com o seu desempenho na tarefa de tomada de decisão. A tarefa experimental foi precedida por 10 ensaios para treino, para permitir ajustar a dificuldade da tarefa ao desempenho inicial do sujeito. Os estímulos foram apresentados num ecrã de computador com 17 polegadas, colocado 115 cm à frente do participante.

Os dados de EEG foram recolhidos com uma touca composta por 128 elétrodos, modelo *Hydrocel Geodesic Sensor Net* (Electrical Geodesics Inc., Eugene, OR, USA), conectada a um amplificador de alta impedância, modelo NetAmps 300 (Electrical Geodesics Inc., Eugene, OR, USA) e sincronizado com o *software* de administração da tarefa experimental.

3. Procedimento

Foram organizadas duas sessões individuais de recolha de dados: numa primeira sessão recolheu-se informação sociodemográfica e procedeu-se à avaliação neuropsicológica dos participantes, utilizando o questionário sociodemográfico, o TONI-4, o WCST, as tarefas de vocabulário e compreensão da WAIS-III e o MoCA acima referidos. A avaliação neuropsicológica começou sempre o MoCA, de forma que a fadiga não interferisse no desempenho neste teste. Já os outros testes foram administrados em ordem aleatória para controlar efeitos de ordem. Na segunda sessão, após confirmar um desempenho neurocognitivo dentro do esperado para a idade e escolaridade, foi administrada a e-MID com a recolha simultânea de dados EEG.

Os dados de EEG foram recolhidos com uma taxa de amostragem de 500 Hz e as impedâncias foram mantidas abaixo de 50 k Ω para todos os elétrodos. Os elétrodos foram referenciados a Cz durante o registo e re-referenciados *offline* à média dos elétrodos colocados nos mastoides esquerdo e direito. Os dados EEG foram processados com a versão 2021.0 do programa EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004).

A taxa de amostragem foi reduzida para 250 Hz e o sinal EEG foi filtrado com um filtro passa-banda a 0.1 - 30 Hz. Os canais sem sinal ou com sinal de má qualidade foram interpolados até ao limite máximo de 10% dos elétrodos da touca e os dados foram decompostos segundo uma análise de componentes independentes. Uma vez identificados

os artefactos de pestanejos, sacadas oculares e de batimento cardíaco através desta análise, procedeu-se à respetiva correção. Depois, o sinal EEG foi segmentado em épocas temporalmente sincronizadas com o início do *feedback*, começando 200 ms antes e terminando a 800 ms após o mesmo. Todos os segmentos foram examinados visualmente e as épocas contendo artefactos foram rejeitadas. Todas as épocas foram corrigidas à linha de base (i.e., 200 ms antes do *feedback*) e foram calculados os potenciais médios por condição (ganho, não-ganho, perda, não-perda e neutra).

A amplitude média dos dois potenciais cerebrais relacionados com o *feedback* – FRN e P3 - foi extraída para cada participante. O FRN foi medido no conjunto de canais que rodeia o eletrodo FCz (eletrodo 6 na nomenclatura de rede geodésica) incluindo os eletrodos número 4, 5, 10, 11, 12, 16, 18, e 19. De acordo com a morfologia do componente, foi analisada a amplitude média na janela temporal de 260 a 360 ms após o início do *feedback*. Uma vez que a onda FRN foi positiva, uma maior amplitude média de FRN significa um FRN menos pronunciado e vice-versa. Já no caso do P3, foi medido no conjunto de canais que rodeia o eletrodo Pz (eletrodo 62 na nomenclatura da rede geodésica), incluindo os eletrodos número 54, 55, 61, 67, 72, 77, 78 e 79. De acordo com a morfologia do componente, foi analisada a amplitude média na janela temporal entre 300 e 500 ms. Como estudos anteriores que avaliaram as amplitudes FRN durante as tarefas de tomada de decisão no envelhecimento analisaram ondas obtidas em cada condição de *feedback* (Di Rosa et al., 2017; Fernandes et al., 2018; Kardos et al., 2017; West et al., 2014), adotámos o mesmo procedimento.

Para análise estatística, foram calculadas as medidas de tendência central (médias) e dispersão (desvios-padrão) das pontuações obtidas nos instrumentos de avaliação neuropsicológica, bem como de desempenho comportamental na tarefa experimental e, ainda, das medidas neurofisiológicas de interesse. De seguida, calcularam-se correlações para analisar a relação entre as pontuações brutas nos testes neurocognitivos (a pontuação bruta no teste TONI-4, o número de respostas corretas no WCST, o número de erros perseverativos no WCST, o número de erros não perseverativos no WCST, a pontuação bruta da aprendizagem conceptual no WCST, a pontuação bruta no subteste de vocabulário na WAIS-III, a pontuação bruta no subteste de compreensão na WAIS-III e a pontuação bruta no MoCA) e as variáveis sociodemográficas (idade e escolaridade), neurofisiológicas (amplitude média de FRN e P3 induzida pelo *feedback* de perda, não perda, ganho, não ganho e neutro) e comportamentais (TR médio e número de *hits* na condição ganho, perda e total). Esta análise inicial permitiu excluir dos modelos de regressão subsequentes os potenciais preditores que não se mostraram significativamente correlacionados com potenciais

variáveis de resultado e vice-versa. Da análise da matriz de correlações, identificaram-se como preditores a considerar nos modelos de regressão as pontuações brutas do TONI-4, do subteste de vocabulário da WAIS-III e o número de erros perseverativos do WCST (medidas neuropsicológicas). Por sua vez, as variáveis de resultados identificadas, que entraram em modelos separados, foram: a amplitude média de FRN induzida pelo *feedback* de perda e a amplitude média de P3 induzida pelo *feedback* de não-ganho (medidas neurofisiológicas); o TR médio total, na condição de ganho e na condição de perda e o número total de *hits* (medidas comportamentais da tarefa experimental).

Por fim, após verificação dos pressupostos estatísticos e identificação/eliminação de *outliers* (casos de resíduos estandardizados > 3), as correlações significativas entre as variáveis de interesse foram exploradas através de regressões lineares simples e múltiplas, nas quais as pontuações dos instrumentos neurocognitivos entraram como variáveis preditoras e as medidas neurofisiológicas e comportamentais na tarefa de tomada de decisão entraram como variáveis de resultado.

A normalidade das distribuições foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, realçando-se que nos casos em que se obteve um resultado $< .05$, não se observaram violações graves da normalidade, tal como demonstrado por uma assimetria < 2 e curtose < 7 . O pressuposto da linearidade das relações entre as variáveis foi examinado por observação dos gráficos de dispersão. Não se observou multicolinearidade (valores de tolerância $> .10$ e VIF < 10) nem presença de *outliers* em nenhum dos modelos. A independência dos resíduos foi testada pelo teste de Durbin-Watson, seguindo o critério de Field (2009) segundo o qual valores < 1 ou > 3 sinalizam autocorrelações positivas ou negativas que podem levar a erros de Tipo I, não se tendo observado nenhum caso além deste intervalo.

Para as análises estatísticas utilizou-se o programa IBM SPSS Statistics (Versão 28) e o programa JASP (Versão 0.15; JASP Team, 2021). O intervalo de confiança adotado em todas as análises estatísticas foi de 95% com $\alpha = .05$.

Resultados

1. Estatística Descritiva

Os resultados obtidos nas medidas neuropsicológicas, neurofisiológicas e comportamentais podem ser consultados na tabela 1, 2 e 3, respetivamente. Em adição para

uma melhor compreensão das variáveis neuropsicológicas encontram-se nos anexos A e B os traçados das amplitudes dos ERP em cada condição e *feedback*.

Tabela 1

Resultados nas medidas neuropsicológicas (pontuações diretas)

Medidas	<i>M</i>	<i>SD</i>
MoCA	26.43	2.13
WAIS-III		
Subteste compreensão	21.00	4.15
Subteste vocabulário	47.48	8.43
TONI-4	33.26	8.35
WCST		
Corretas	70.91	11.21
Erros	28.48	23.02
Erros perseverativos	15.91	12.52
ErrosNP	12.57	11.86
Conceptual	63.13	16.15

Note. *N* = 23 em todas as medidas. ErrosNP = Erros não perseverativos.

Tabela 2

Resultados nas medidas neurofisiológicas (em μV)

Medidas	<i>M</i>	<i>SD</i>
Amplitude média de P3		
Ganho	8.54	4.49
Não-ganho	6.54	6.70
Perda	8.65	6.94
Não-perda	6.80	5.13
Neutro	4.20	3.06
Amplitude média de FRN		
Ganho	8.75	3.51
Não-ganho	7.23	4.85
Perda	9.73	5.69
Não-perda	7.42	4.15
Neutro	4.44	3.89

Note. *N* = 23 em todas as medidas.

Tabela 3

Resultados comportamentais totais, nas condições de ganho e nas condições de perda da tarefa experimental (e-MID)

Medidas	M	SD
<i>Hits</i>		
Totais	60.22	1.09
Ganho	30.78	3.26
Perda	29.43	3.30
TR		
Total	209.12	47.96
Ganhos	209.57	46.74
Perdas	209.25	50.63

Note. $N = 23$ em todas as medidas. *Hits* = número de respostas dentro do tempo estipulado para conseguir um *feedback* favorável. TR = Tempo de reação

2. Estatísticas correlacionais

Correlações significativas indicaram que o número de *hits* (clique dentro do tempo estipulado) estava positivamente correlacionado com a idade ($r = .41$, $n = 23$, $p = .050$, $r^2 = .17$) e negativamente correlacionado com a pontuação bruta no TONI-4 ($r = -.55$, $n = 23$, $p = .006$, $r^2 = .31$). A média total dos TR mostrou-se positivamente correlacionada com a pontuação no subteste de vocabulário da WAIS-III ($r = .54$, $n = 23$, $p = .008$, $r^2 = .29$), enquanto o TR médio na condição de ganho revelou-se positivamente correlacionado com a pontuação no subteste de vocabulário da WAIS-III ($r = .56$, $n = 23$, $p = .005$, $r^2 = .32$), e o TR médio na condição de perda correlacionou-se positivamente com a pontuação do subteste de vocabulário da WAIS-III ($r = .49$, $n = 23$, $p = .018$, $r^2 = .24$). Por fim, no que respeita às medidas neurofisiológicas, observaram-se correlações negativas entre a amplitude média de FRN induzida pelo *feedback* de perda e o número de erros perseverativos do WCST ($r = -.41$, $n = 23$, $p = .050$, $r^2 = .17$), bem como entre a amplitude de P3 induzida pelo *feedback* de não-ganho e a idade ($r = -.45$, $n = 23$, $p = .029$, $r^2 = .21$), mas a amplitude deste potencial mostrou-se positivamente correlacionada a pontuação total no TONI-4 ($r = .52$, $n = 23$, $p = .011$, $r^2 = .27$). A matriz das correlações significativas pode ser consultada na tabela 4.

Tabela 4*Matriz das correlações significativas*

Variáveis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Idade	—										
2. Escolaridade	-.02	—									
3. WAIS-III subteste vocabulário	-.06	.43*	—								
4. TONI-4	-.28	.44*	.14	—							
5. WCST_Erros perseverativos	.41	-.41*	-.11	-.37	—						
6. Hits	.41*	.09	-.04	-.55**	.12	—					
7. TR total	.14	.09	.54**	-.10	-.29	-.04	—				
8. TR ganho	.11	.15	.56**	-.06	-.31	-.10	.99**	—			
9. TR perda	.16	.03	.49*	-.14	-.26	-.05	.99**	.96**	—		
10. FRN perda	-.37	.26	.03	.12	-.41*	.01	-.07	-.05	-.09	—	
11. P3 não-ganho	-.45*	.26	-.22	.52*	-.35	-.33	-.38	-.34	-.42*	.72**	—

* $p < .05$. ** $p < .01$. As correlações a negrito foram exploradas através de modelos de regressões lineares.

3. Análise da capacidade preditiva das medidas de desempenho comportamental

Uma vez que a pontuação da subescala vocabulário foi a única que se mostrou significativamente relacionada com os TR (a média total dos TR, TR médio na condição de ganho e TR médio na condição de perda), entrou-se apenas com a pontuação dessa subescala como preditora no modelo de regressão.

Foram feitos modelos independentes para cada variável de resultado. Os resultados mostram que a pontuação do subteste de vocabulário da WAIS-III prediz significativamente a média total dos TR, $F(1, 21) = 8.49$, $p = .008$, $Adj R^2 = .25$, $B = 3.05$, o TR médio na condição de ganho, $F(1, 21) = 9.74$, $p = .005$, $Adj R^2 = .28$, $B = 3.12$, e o TR médio na condição de perda, $F(1, 21) = 6.53$, $p = .018$, $Adj R^2 = .20$, $B = 2.93$ (ver as figuras 2, 3 e 4).

Figura 2

Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre o subteste de vocabulário WAIS-III e o TR total

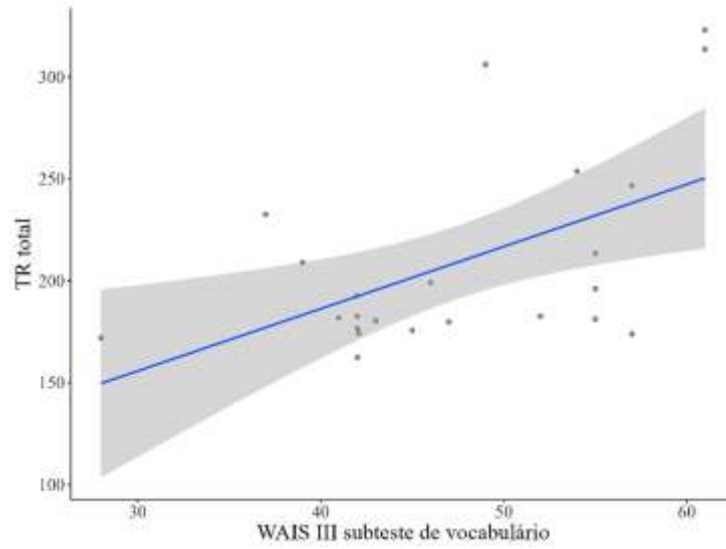


Figura 3

Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre o subteste de vocabulário WAIS-III e o TR de ganho

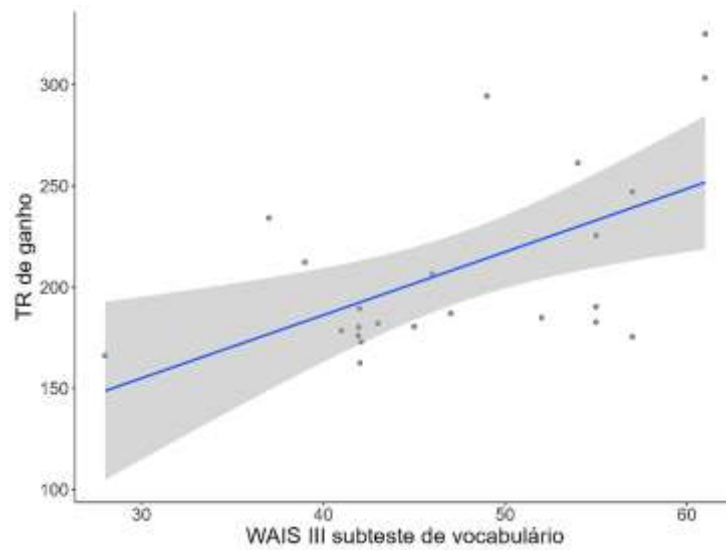
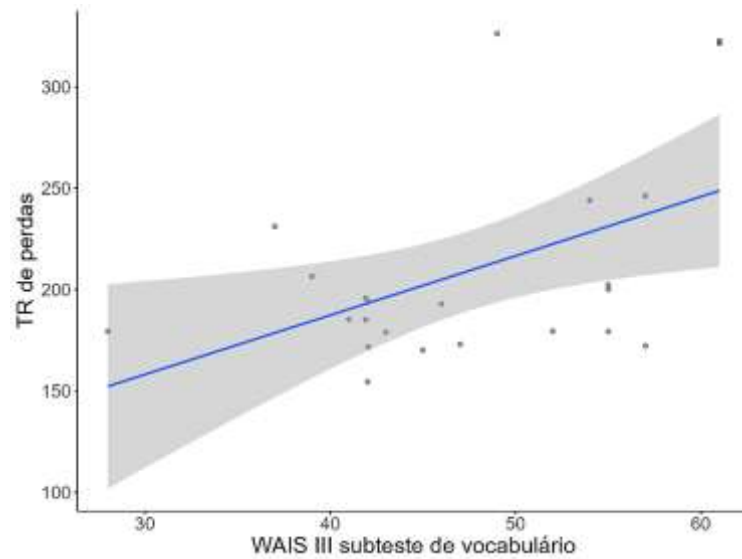


Figura 4

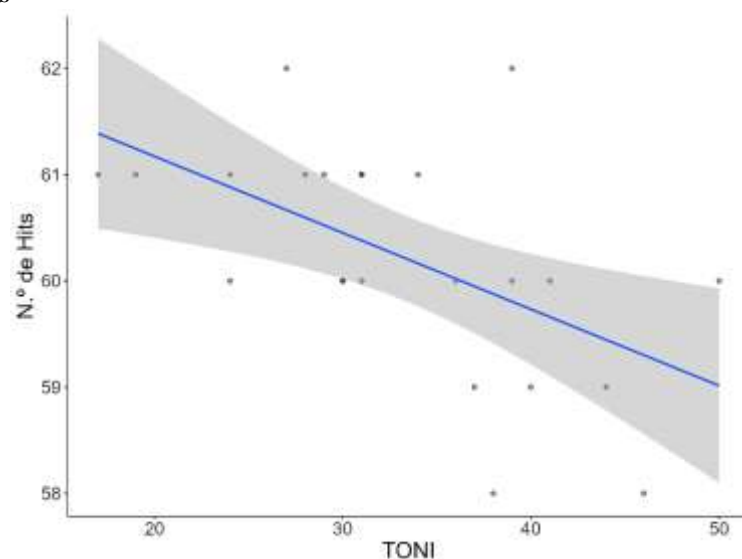
Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre o subteste de vocabulário WAIS-III e o TR de perda



Quanto ao número de *hits*, tendo-se observado uma correlação significativa com idade e a pontuação no TONI-4, entrou-se com ambas as variáveis como predictoras no modelo de regressão. Os resultados mostram que a idade e a pontuação bruta do TONI-4 predizem significativamente o número de *hits*, $F(2, 20) = 6.10$, $p = .009$, $\text{Adj } R^2 = .31$, mas só a pontuação bruta do TONI-4 explica uma variação significativa do n.º de *hits* ($B = -.062$, $SE = .024$, $\beta = -.48$, $t = -2.59$, $p = .018$). O gráfico de dispersão da relação significativa entre as variáveis pode ser consultado na figura 5.

Figura 5

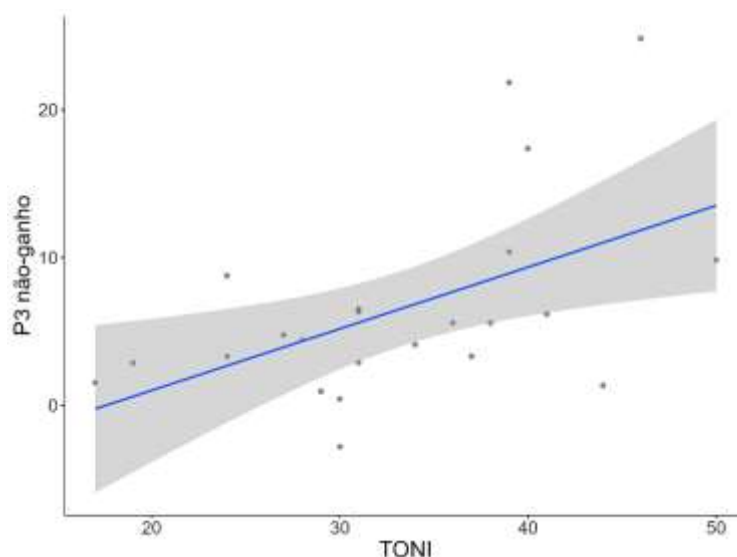
Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre a pontuação bruta do TONI-4 e o número de hits



Quanto à amplitude de P3 induzida pelo *feedback* de não-ganho, tendo-se observado uma correlação significativa com idade e a pontuação no TONI-4, entrou-se com ambas as variáveis como preditoras no modelo de regressão. Os resultados mostram que a idade e a pontuação bruta do TONI-4 predizem significativamente a amplitude média de P3 induzida pelo *feedback* de não-ganho, $F(2, 20) = 5.96$, $p = .009$, $\text{Adj } R^2 = .31$, mas só a pontuação bruta do TONI-4 explica uma variação significativa da amplitude ($B = .34$, $SE = .15$, $\beta = .43$, $t = -2.31$, $p = .032$). O gráfico de dispersão da relação significativa entre as variáveis pode ser consultado na figura 6.

Figura 6

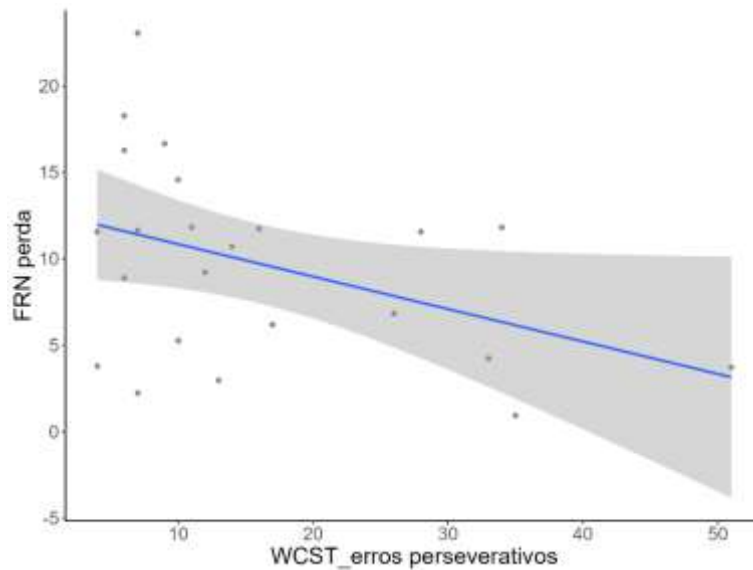
Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre a pontuação bruta do TONI-4 e a amplitude média de P3 induzida pelo *feedback* de não-ganho



Por fim, quanto à amplitude de FRN induzida pelo *feedback* de perda, tendo-se observado uma correlação significativa com o número de erros perseverativos no WCST, entrou-se com esta variável como preditora no modelo de regressão. Os resultados mostram que o número de erros perseverativos no WCST prediz significativamente a amplitude média de FRN induzida pelo *feedback* de perda, $F(1, 21) = 4.33$, $p = .050$, $\text{Adj } R^2 = .13$, $B = -.19$ (ver a figura 7).

Figura 7

Gráfico de dispersão do modelo de regressão linear entre os erros perseverativos do WCST e a amplitude média de FRN induzida pelo feedback de perda



Discussão

No presente estudo explorou-se se os défices na função cognitiva comumente atribuídos à população idosa, devido ao envelhecimento, se estendem à cognição social. Os défices cognitivos têm sido investigados de diversas formas, quer por testes neuropsicológicos quer por medidas neurofisiológicas. Existem, ainda, alguns artigos que demonstram uma associação das medidas neuropsicológicas com as neurofisiológicas, tal como o efeito do envelhecimento nas mesmas. Contudo o estudo da cognição social no envelhecimento é ainda muito escasso, principalmente na tomada de decisão em contexto social. Além disso, torna-se de especial importância estudar a população idosa porque os indivíduos mais idosos apresentam uma variabilidade intraindividual mais alta em vários domínios do seu funcionamento cognitivo e apresentam maior risco para o défice cognitivo ligeiro (DCL) com possível progressão para doenças neurodegenerativas como é o caso da demência de Alzheimer.

Dito isto, o objetivo deste estudo passou por analisar, de modo exploratório, em que medida o desempenho neuropsicológico permite prever medidas de funcionamento neurofisiológico e de desempenho comportamental numa tarefa de cognição social, mais precisamente de tomada de decisão económica em contexto social, para que futuramente se

possa replicar este estudo em pessoas com DCL. Para atingir este objetivo recorreu-se à tarefa e-MID simultaneamente com a recolha de dados encefalográficos, de modo a se extraírem potenciais relacionados com eventos (ERP), designadamente P3 e FRN, associados ao processamento de recompensas/*feedback*, como medidas neurofisiológicas. Inicialmente, os participantes fizeram uma bateria de testes que pudesse confirmar a ausência de défices cognitivos e caracterizar o seu funcionamento neuropsicológico. Após a seleção, foram expostos à tarefa experimental e recolhidos os dados da mesma, quer neurofisiológicos, quer comportamentais.

A análise dos dados comportamentais revelou que a idade e o raciocínio abstrato, avaliado pela pontuação bruta no TONI-4, prediziam o desempenho na tarefa de tomada de decisão, avaliado pelo número de hits, mas o raciocínio abstrato foi o único preditor estatisticamente significativo. Curiosamente, quanto maior a pontuação na prova de raciocínio abstrato, pior é o desempenho na tarefa de tomada de decisão.

O desempenho em tarefas experimentais de tomada de decisão, em diversos estudos, foi demonstrado como maior ou mais eficaz em jovens adultos e adultos quando comparados com idosos (Daffner et al., 2011; Di Rosa et al., 2017; Saliasi et al., 2013). Apesar de as tarefas serem diferentes e estudarem funções diferentes, o défice no desempenho parece ser generalizado. Contudo existem algumas contradições, nomeadamente nas tarefas de tomada de decisão sob risco, nas quais os idosos aparentam ter o mesmo desempenho comportamental que os jovens adultos ou adultos, ainda que possam diferir em medidas neuropsicológicas ou neurofisiológicas (Kardos et al., 2017; West et al., 2014). Assim, o desempenho pode depender muito das características da tarefa e do que está a ser medido.

O facto de a idade não se revelar um preditor significativo individual pode dever-se à baixa variância das idades dos participantes. Aliado ao mesmo desempenho dos idosos em relação aos jovens em certas tarefas de tomada de decisão, alguns estudos identificaram que a inteligência fluida poderia ter um peso na realização dessas tarefas, mas esta não seria a única variável a ter um efeito na mesma (Bruin et al., 2020; Li et al., 2013). Nos casos em que participantes idosos e mais jovens mostraram um desempenho equiparável em tarefas de tomada de decisão, esse resultado parece ter-se devido a variáveis que poderiam atenuar e/ou eliminar as dificuldades sentidas na inteligência fluída. Li e colaboradores (2013) identificaram a inteligência cristalizada entre essas variáveis, enquanto Bruin e colaboradores (2020) identificaram variáveis como a motivação, a regulação emocional e a experiência. Quando o desempenho das pessoas idosas é pior do que o dos jovens, esse resultado pode dever-se à importância que a inteligência fluida tem em algumas medidas da

tomada de decisão, sobrepondo-se à eventual compensação atrás referida (Li et al., 2013). Sendo o TONI-4 um instrumento que avalia a inteligência fluida, seria de esperar que uma pontuação mais elevada nesse instrumento estivesse relacionada com um melhor desempenho na tarefa de tomada de decisão económica, o que não se verificou. Tal pode ser devido a idosos com maior inteligência fluída não recrutarem tantas medidas compensatórias que poderão ser importantes nesta tarefa, por exemplo poderiam não ter tanta motivação para a tarefa já que a tarefa era para jogar para uma terceira pessoa, em vez de para si.

Ainda ao nível comportamental, verificou-se que a inteligência cristalizada, medida pelo subteste de vocabulário da WAIS, prediz tanto o tempo de reação total, bem como nas condições de ganho e perda da tarefa de tomada de decisão. Quanto maior a pontuação da WAIS, mais longo se revelou o tempo de reação, o que poderia indiciar decisões mais ponderadas, mas análises acessórias não revelaram qualquer relação significativa entre os tempos de reação e o número de hits na tarefa de tomada de decisão. O estudo de Kader e colaboradores (2015) contrasta com os nossos resultados, não encontrando nenhuma correlação entre o subteste de vocabulário e o TR. No seu estudo, só a escala de desempenho da WAIS teve uma correlação negativa com o TR, mas é importante referir que utilizou uma tarefa experimental diferente do nosso estudo, o que pode justificar a diferença nos resultados. Adicionalmente, outro estudo verificou correlações significativas entre a inteligência geral, a fluida e a cristalizada e as várias medidas da velocidade do processamento, incluindo os TR (Sheppard & Vernon, 2008). Contrariando parcialmente os resultados do presente estudo, observou-se que a inteligência cristalizada foi a que menos influência teve nos TR, mas a sua influência tinha uma tendência para aumentar quando a tarefa envolvia o processamento de mais informação.

Ao nível dos resultados neurofisiológicos, a idade e a inteligência fluída, medida pela pontuação do TONI-4, predizem a amplitude média de P3 induzida pelo *feedback* de não-ganho, mas só a inteligência fluída prediz significativamente o nível de ativação/atenção associado ao *feedback* de não-ganho na tomada de decisão económica em contexto social. Mais precisamente, pontuações maiores no TONI-4 estão associadas a maiores amplitudes médias de P3. Estes resultados vão ao encontro da literatura, mas como o envelhecimento está relacionado com a diminuição da amplitude do P3 (Ito et al., 2006), seria de esperar que a idade também se revelasse um preditor significativo. Mais uma vez, a o facto de todos os participantes serem idosos pode explicar a inexistência de significância da idade. Uma pista no mesmo sentido vem do estudo de Saliassi e colaboradores (2013) que identificaram uma diferença maior na amplitude de P3 entre duas condições experimentais em jovens do que

em idosos. Adicionalmente, Kader e colaboradores (2015), investigando uma amostra de idosos saudáveis, não verificaram nenhuma correlação da idade com a amplitude de P3, embora as tarefas experimentais fossem diferentes das do presente estudo. Voltando à relação entre a inteligência fluida e medidas de P3, há algumas contradições na literatura. Num estudo envolvendo adultos entre os 22 e os 95 anos, a amplitude média de P3 não foi correlacionada com nenhum dos testes que avaliam a inteligência fluida (subteste de desenho de blocos e matrizes da WAIS-R), mas a amplitude pico de P3 foi (Walhovd & Fjell, 2002). Apesar de o nosso estudo não ter tanta variância de idade, foi encontrado um efeito da inteligência fluida (medida pelo TONI-4) na amplitude média de P3. Adicionalmente, num estudo no qual idosos foram divididos tendo como critério o desempenho num teste de inteligência fluida similar ao TONI-4 (o *Raven's Advanced Progressive Matrices*) não se encontraram diferenças entre os grupos de alto e baixo desempenho na amplitude de P3 (Teixeira-Santos et al., 2020), mas a tarefa experimental foi uma *oddball*, e não uma tarefa de tomada de decisão económica. Ora, esta tarefa não é cognitivamente tão desafiante, requerendo menos recursos e evocando um P3 de uma natureza diferente daquele que é induzido pela nossa tarefa.

Ainda ao nível neurofisiológico, verificou-se que funções como o controlo e flexibilidade cognitiva, medidas pelo número de erros perseverativos no WCST, predizem a amplitude média do FRN induzida pelo *feedback* de perda, isto é, a violação da expectativa do participante na tarefa de tomada de decisão económica em contexto social. Especificamente, quanto pior o desempenho naquelas funções cognitivas, menor a amplitude média induzida pelo *feedback* de perda o que, no caso do FRN, revela um componente aumentado (mais pronunciado). Os resultados vão ao encontro do estudo de Dong e colaboradores (2016) no qual é realizado uma tarefa de tomada de decisão sob incerteza (*Iowa Gambling Task*) numa amostra de jovens adultos dividida em alto e baixo desempenho através das suas pontuações totais no WCST. Na fase da avaliação do *feedback*, verificou-se que a componente de FRN foi maior num contexto de perdas do que num contexto de ganhos para o grupo de alto desempenho, observando-se o oposto para o grupo de baixo desempenho. Isto demonstrou uma aprendizagem com *feedback* refletida no padrão esperado de resultados (a componente de FRN ser mais aumentada na condição de perda do que na condição de ganho) identificado no grupo de maior desempenho e um défice na aprendizagem com *feedback* para o grupo de menor desempenho refletida na ausência deste padrão (Dong et al., 2016). Além disso, o número de erros perseverativos foi correlacionado negativamente com a amplitude de FRN, tal como neste estudo, no grupo de desempenho

alto, demonstrando que quanto maior for o número de erros perseverativos, menor será a amplitude de FRN e portanto maior será a sua componente. É preciso ter em atenção que Dong e colaboradores aplicaram uma tarefa diferente, o FNR foi estudado através de uma onda de diferença em vez da amplitude média, e a população era jovem. No estudo de Fernandes e colaboradores (2018) investigou-se a tomada de decisão sob risco numa amostra de jovens adultos, adultos de meia-idade e idosos. Tal como no presente estudo, a amplitude média do FRN induzida pelo *feedback* desfavorável na perda correlacionou-se negativamente com a pontuação do TMT, ocorrendo o mesmo para *feedback* favorável no ganho. Isto é, quanto maior a pontuação do TMT, menor a amplitude média do FRN, demonstrando uma componente aumentado.

A reduzida dimensão amostral é uma limitação deste estudo, mas importa sublinhar que foi conduzido em período de restrições devidas à crise pandémica do SARS-Cov-2, que condicionou o recrutamento de participantes. Acresce que o facto de o ponto de corte para DCL, usado como critério de inclusão, não ter sido calculado em função da idade e da escolaridade dos participantes, pode ter eliminado possíveis idosos saudáveis para a amostra. Mais, a escassez de literatura sobre o tema e de outros estudos com as mesmas características, torna especialmente difícil a comparação e interpretação dos resultados.

Apesar das limitações acima indicadas, este estudo, ainda que meramente exploratório, é um contributo inicial para se perceber a relação entre o funcionamento neurocognitivo em idosos saudáveis, por um lado, e a tomada de decisão económica, bem como os seus correlatos neurofisiológicos, por outro. Para estudos futuros, propomos a realização de uma replicação do mesmo estudo que permita a comparação com um maior número de participantes, abrangendo o DCL (envelhecimento patológico) e/ou outras faixas etárias, complementado com uma bateria mais abrangente das funções cognitivas e analisando também as latências dos ERP. Deste modo aprofundam-se os resultados aqui obtidos, bem como as diferenças ao longo do envelhecimento saudável e patológico para a tomada de decisão em contexto social e, ainda, se isso está ligado às diferenças nas funções cognitivas.

Principais conclusões

Mais do que extrair conclusões deste estudo exploratório podemos formular a hipótese de que um melhor desempenho neurocognitivo nos instrumentos de avaliação poderá prever a tomada de decisão económica contexto social e seus correlatos neurofisiológicos. Deste modo, com a prossecução desta linha de investigação, é possível que tais medidas do funcionamento neurocognitivo se tornem elegíveis como auxiliar ao diagnóstico de DCL. Nomeadamente, o desempenho em medidas de inteligência fluida como as providenciadas pelo TONI-4, assim como o desempenho em medidas de inteligência cristalizada como as providenciadas pela prova de vocabulário, podem prever o desempenho da tomada de decisão. Mais, a inteligência fluída está relacionada com a amplitude média de P3 induzida pelo *feedback* de não-ganho e o controlo/flexibilidade cognitiva, medida pelos erros perseverativos do WCST, predizem a amplitude de FRN induzida pelo *feedback* de perda.

Contudo é necessário advertir para a impossibilidade, nas circunstâncias atuais, de generalização destas conclusões já que, como referido, a amostra é pequena, a literatura sobre este tema é escassa e as interpretações dos resultados obtidos são feitas por comparações com estudos que têm tarefas e/ou características metodológicas diferentes, incluindo no que respeita às amostras, e aos instrumentos/protocolos de recolha e tratamento de dados.

Referências

- Arioli, M., Crespi, C., & Canessa, N. (2018). Social Cognition through the Lens of Cognitive and Clinical Neuroscience. *BioMed Research International*, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2018/4283427>
- Bora, E., & Yener, G. G. (2017). Meta-Analysis of Social Cognition in Mild Cognitive Impairment. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 30(4), 206–213. <https://doi.org/10.1177/0891988717710337>
- Brown, L., Sherbenou, R. J., & Johnsen, S. K. (2010). *Test of nonverbal intelligence* (4th ed.). PRO-ED.
- Broyd, S. J., Richards, H. J., Helps, S. K., Chronaki, G., Bamford, S., & Sonuga-Barke, E. J. S. (2012). An electrophysiological monetary incentive delay (e-MID) task: A way to decompose the different components of neural response to positive and negative monetary reinforcement. *Journal of Neuroscience Methods*, 209(1), 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2012.05.015>
- Bruin, W. B. de, Parker, A. M., & Fischhoff, B. (2020). Decision-Making Competence: More Than Intelligence? *Association for Psychological Science*, 29(2), 186–192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/0963721420901592>
- Daffner, K. R., Chong, H., Sun, X., Tarbi, E. C., Riis, J. L., McGinnis, S. M., & Holcomb, P. J. (2011). Mechanisms underlying age- and performance-related differences in working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(6), 1298–1314. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21540>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Di Rosa, E., Mapelli, D., Arcara, G., Amodio, P., Tamburin, S., & Schiff, S. (2017). Aging and risky decision-making: New ERP evidence from the Iowa Gambling Task. *Neuroscience Letters*, 640, 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.01.021>
- Díaz-Mardomingo, M. del C., García-Herranz, S., Rodríguez-Fernández, R., Venero, C., & Peraita, H. (2017). Problems in classifying mild cognitive impairment (MCI): One or

- multiple syndromes? *Brain Sciences*, 7(9), 1–19.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/brainsci7090111>
- Dong, X., Du, X., & Qi, B. (2016). Conceptual knowledge influences decision making differently in individuals with high or low cognitive flexibility: An ERP study. *PLoS ONE*, 11(8), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158875>
- Fernades, C., Barbosa, F., Martins, I. P., & Marques-Teixeira, J. (2021). Aging and social cognition: A comprehensive review of the literature. *Psychology & Neuroscience*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1037/pne0000251>
- Fernandes, C., Gonçalves, A. R., Pasion, R., Ferreira-Santos, F., Barbosa, F., Martins, I. P., & Marques-Teixeira, J. (2019). Age-related changes in social decision-making: An electrophysiological analysis of unfairness evaluation in the Ultimatum Game. *Neuroscience Letters*, 692(November 2018), 122–126.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.10.061>
- Fernandes, Carina, Pasion, R., Gonçalves, A. R., Ferreira-Santos, F., Barbosa, F., Martins, I. P., & Marques-Teixeira, J. (2018). Age differences in neural correlates of feedback processing after economic decisions under risk. *Neurobiology of Aging*, 65, 51–59.
<https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2018.01.003>
- Fjell, A. M., Rosquist, H., & Walhovd, K. B. (2009). Instability in the latency of P3a/P3b brain potentials and cognitive function in aging. *Neurobiology of Aging*, 30(12), 2065–2079. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2008.01.015>
- Fjell, A. M., Walhovd, K. B., Fischl, B., & Reinvang, I. (2007). Cognitive function, P3a/P3b brain potentials, and cortical thickness in aging. *Human Brain Mapping*, 28(11), 1098–1116. <https://doi.org/10.1002/hbm.20335>
- Flores, A., Münte, T. F., & Doñamayor, N. (2015). Event-related EEG responses to anticipation and delivery of monetary and social reward. *Biological Psychology*, 109, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.04.005>
- Foster, S. M., Kisley, M. A., Davis, H. P., Diede, N. T., Campbell, A. M., & Davalos, D. B. (2013). Cognitive function predicts neural activity associated with pre-attentive temporal processing. *Neuropsychologia*, 51(2), 211–219.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.017>

- Freitas, S., Simões, M. R., Alves, L., & Santana, I. (2011). Montreal Cognitive Assessment (MoCA): Normative study for the Portuguese population. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *33*(9), 989–996.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/13803395.2011.589374>
- Gajewski, P. D., & Falkenstein, M. (2014). Age-Related Effects on ERP and Oscillatory EEG-Dynamics in a 2-Back Task. *Journal of Psychophysiology*, *28*(3), 162–177.
<https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000123>
- Geda, Y. E., & Nedelska, Z. (2012). Mild cognitive impairment: A subset of minor neurocognitive disorder? *American Journal of Geriatric Psychiatry*, *20*(10), 821–826.
<https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e31826abc00>
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Curtiss, G. (1993). *Wisconsin card sorting test manual* (Rev ed.). Psychological Assessment Resources.
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. E. (2004). Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(2), 87–96.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nrn1323>
- Ismail, L. E., & Karwowski, W. (2020). Applications of EEG indices for the quantification of human cognitive performance: A systematic review and bibliometric analysis. *PLOS ONE*, *15*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242857>
- Ito, K., Tomiya, N., Iimori, M., Yoshihama, J., & Matsuda, H. (2006). Visual cognitive function in dementia of Alzheimer's type: A comparison of visual event-related potentials and Stroop test. *Psychogeriatrics*, *6*(2), 49–54.
<https://doi.org/10.1111/j.1479-8301.2006.00145.x>
- JASP Team (2021). JASP (Version 0.15) [software]
- Kader, A. A., Fahmy, E. M., Ahmed, A. F., Ameen, O. R., Labib, A. A., & Khalil, A. S. (2015). Neurophysiological and psychometric evaluation of cognition in the normal aging population. *Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery*, *52*(3), 188–193. <https://doi.org/10.4103/1110-1083.162041>
- Kardos, Z., Tóth, B., Boha, R., File, B., & Molnár, M. (2017). Age-dependent characteristics of feedback evaluation related to monetary gains and losses. *International Journal of Psychophysiology*, *122*, 42–49.

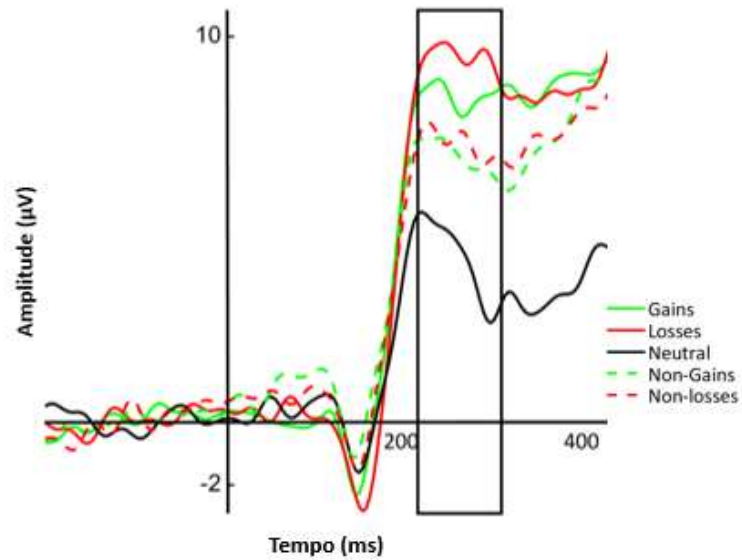
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.05.007>

- Li, Y., Baldassi, M., Johnson, E. J., & Weber, E. U. (2013). Complementary cognitive capabilities, economic decision making, and aging. *Psychology and Aging, 28*(3), 595–613. <https://doi.org/10.1037/a0034172>
- MacDonald, S. W. S., Nyberg, L., & Bäckman, L. (2006). Intra-individual variability in behavior: links to brain structure, neurotransmission and neuronal activity. *Trends in Neurosciences, 29*(8), 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.06.011>
- Machado, L. (2021). Understanding cognition and how it changes with aging, brain disease, and lifestyle choices. *Journal of the Royal Society of New Zealand, 51*(1), 128–142. <https://doi.org/10.1080/03036758.2020.1796102>
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A Brief Screening Tool For Mild Cognitive Impairment. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*(4), 695–699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>
- Pereira, M., Santos, L., Moura, T., Pereira, L., & Landim, M. (2016). Contribuições da socialização e das políticas públicas para a promoção do envelhecimento saudável: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira Em Promoção Da Saúde, 29*(1), 124–131. <https://doi.org/10.5020/18061230.2016.p124>
- Polich, J. (1996). Meta-analysis of P300 normative aging studies. *Psychophysiology, 33*(4), 334–353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb01058.x>
- Rocha, A. M. (2008). *Escala de Inteligência de Wechsler para Adultos - Terceira edição: Manual Técnico* (3rd ed.). CEGOC.
- Saliasi, E., Geerlig, L., Lorist, M. M., & Maurits, N. M. (2013). The Relationship between P3 Amplitude and Working Memory Performance Differs in Young and Older Adults. *PLOS ONE, 8*(5), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063701>
- Shafto, M. A., Henson, R. N., Matthews, F. E., Taylor, J. R., Emery, T., Erzinclioglu, S., Hanley, C., Rowe, J. B., Cusack, R., Calder, A. J., Marslen-Wilson, W. D., Duncan, J., Dalgleish, T., Brayne, C., Cam-CAN, & Tyler, L. K. (2020). Cognitive Diversity in a Healthy Aging Cohort: Cross-Domain Cognition in the Cam-CAN Project. *Journal*

- of Aging and Health*, 32(9), 1029–1041. <https://doi.org/10.1177/0898264319878095>
- Shea, J. M., & Villeda, S. A. (2020). Dampening the Power of the Brain - When Aging Meets Cognition. *Journals of Gerontology: Biological Sciences*, 75(9), 1607–1608. <https://doi.org/doi:10.1093/gerona/glaa170> Guest
- Sheppard, L. D., & Vernon, P. A. (2008). Intelligence and speed of information-processing: A review of 50 years of research. *Personality and Individual Differences*, 44(3), 535–551. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2007.09.015>
- Teixeira-Santos, A. C., Pinal, D., Pereira, D. R., Leite, J., Carvalho, S., & Sampaio, A. (2020). Probing the relationship between late endogenous ERP components with fluid intelligence in healthy older adults. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67924-4>
- Walhovd, K. B., & Fjell, A. M. (2002). The relationship between P3 and neuropsychological function in an adult life span sample. *Biological Psychology*, 62(1), 65–87. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(02\)00093-5](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(02)00093-5)
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler adult intelligence scale III* (3rd ed.). Psychological Corporation.
- West, R., Tiernan, B. N., Kieffaber, P. D., Bailey, K., & Anderson, S. (2014). The effects of age on the neural correlates of feedback processing in a naturalistic gambling game. *Psychophysiology*, 51, 734–745. <https://doi.org/10.1111/psyp.12225>
- Yang, Z. (2020). Influence of preference effect on economic decision-making: An analysis of electroencephalogram signals. *Revista Argentina de Clínica Psicológica*, 29(2), 499–506. <https://doi.org/10.24205/03276716.2020.269>
- Yu, J., Collinson, S. L., Liew, T. M., Ng, T. P., Mahendran, R., Kua, E. H., & Feng, L. (2020). Super-cognition in aging: Cognitive profiles and associated lifestyle factors. *Applied Neuropsychology: Adult*, 27(6), 497–503. <https://doi.org/10.1080/23279095.2019.1570928>

Anexos

Anexo A. Amplitude média do FRN na janela temporal dos 260 aos 360 ms nas três condições e dois *feedbacks* durante a fase processamento da recompensa/*feedback*



Anexo B. Amplitude média do P3 na janela temporal dos 300 aos 500 ms nas três condições e dois *feedbacks* durante a fase processamento da recompensa/*feedback*

