UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE PSICOLOGIA

O contributo das representações numéricas básicas e da função executiva no desempenho de operações aritméticas: um estudo exploratório

Teresa Teixeira Diniz Antunes Barradas

MESTRADO INTEGRADO EM PSICOLOGIA

(Secção de Cognição Social Aplicada)

2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE PSICOLOGIA

O contributo das representações numéricas básicas e da função executiva no desempenho de operações aritméticas: um estudo exploratório

Teresa Teixeira Diniz Antunes Barradas

Dissertação orientada pela Professora Doutora Mafalda Mendes

MESTRADO INTEGRADO EM PSICOLOGIA

(Secção de Cognição Social Aplicada)

2014

Agradecimentos

À Professora Doutora Mafalda por toda a ajuda que me ofereceu desde os primeiros dias de dispersão até aos últimos de agitação e distração. Obrigada por me ter ajudado a descobrir uma área que até então desconhecia. É sempre gratificante aprendermos coisas diferentes, ainda mais quando gostamos delas. Obrigada.

Aos meus pais, irmãos, amigos e colegas que, direta ou indiretamente, me apoiaram na realização da tese. Um especial agradecimento à minha tia Margarida que, com a sua especialidade nos números, me ajudou sempre que precisei.

Aos meus pais,

Pelo exemplo de dedicação ao trabalho e devoção à família

Resumo

No âmbito da Cognição Numérica, a presente investigação analisou o contributo das representações numéricas básicas e da função executiva no processamento numérico envolvido na execução de operações aritméticas, mais especificamente na adição, em crianças do primeiro e quarto ano e em adultos. De um modo geral, este estudo pretendeu compreender de que forma é que os domínios específico ("sentido de número") e geral (função executiva) influenciam capacidades numéricas superiores. Para tal, foram utilizadas a tarefa de comparação de magnitudes e a tarefa da linha numérica, para caracterizar as representações mentais numéricas básicas, a tarefa espacial de Stroop para medir aspetos da função executiva como o controlo inibitório e a flexibilidade, e uma tarefa de adição. Os resultados obtidos espelham uma maior facilidade dos adultos ao lidar com símbolos, bem como um aumento da precisão da representação de numerosidades com a escolarização. A análise de regressão mostra que uma maior rapidez de resposta na tarefa não-simbólica, um menor efeito de distância não-simbólico, uma menor amplitude dos desvios na linha numérica e um maior controlo inibitório, contribuem para um melhor desempenho na realização das operações aritméticas. De forma geral, a linha numérica revelou ser o melhor preditor do desempenho nesta última tarefa, sobrepondo-se ao efeito de distância. Por fim, é sugerido um *follow-up* no sentido de tentar compreender até que ponto o domínio emocional pode influenciar a relação representações – aprendizagem da matemática.

Palavras-chave: Representações numéricas; Função executiva; Símbolos; Linha numérica; Adição.

Abstract

Although it is well established that abilities as numerical comparison and number estimation may reflect basic numerical understanding, which were found to be predicted of children's learning of arithmetic and even mathematics, different studies have shown that specific executive functions are related to mathematical skills. In addition, the extent to which the domain-general and –specific is not yet understood. This research was designed with the main focus on the study of the relative contribute of basic numerical representations and executive functions on numerical processing involved on the execution of arithmetical problems, such as addition, in first- and fourth-graders and adults. To address these questions, it was used a *number comparison task* and a *number line estimation task* to characterize their mental representation of number (basic representations), the *spatial Stroop task* to measure their ability to control, compose and store different goals (executive functioning), and their ability to perform an *addition task*. This research has shown that *on response organization arrows* the individuals had more difficulty when the flexibility is required and even more when both flexibility and inhibition are required. On the *number comparison task*, the distance effect was smaller on the symbolic notation, and deviations of the estimates on the *number line estimation task* showed a log-linear shift with development. Together, these results reflect an improvement when it comes to symbols, as well as an improved estimation accuracy attributable to increased linearity of estimates with schooling. Furthermore, the regression analysis suggested that a faster response in non-symbolic task, a smaller effect of nonsymbolic distance, a smaller amplitude of the deviations on the number line and a greater inhibitory control, may lead to a better performance on the arithmetic operations. Finally, it is suggested a follow-up study to investigate to what extent the emotional domain influences the relationship between representation and mathematics learning.

Key-words: Numerical representations; Executive functioning; Symbols; Number line; Addition.

ÍNDICE

INDICE DE APENDICES

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE QUADROS

1. Introdução

A necessidade de manipular quantidades e números está presente em inúmeras atividades do quotidiano – tais como perceber o *ranking* de um campeonato desportivo, gerir o salário e fazer poupanças, e até mesmo estimar o preço final da conta do supermercado. A importância dos números deve-se não só à sua utilidade, mas também à forma como estes moldam a forma como pensamos o mundo (Butterworth, 1999). As pessoas que possuem dificuldades acentuadas a aprender a contar ou a efetuar cálculos, estão em grande desvantagem na vida académica e profissional em relação aos demais (Butterworth, 2005).

Apesar de na última década se ter assistido a um aumento sistemático da investigação no âmbito da cognição numérica, existem ainda poucos estudos com foco no desenvolvimento e dificuldades matemáticas comparativamente com outras áreas do desenvolvimento, como por exemplo, a linguagem. Ao longo dos últimos anos, áreas como a psicologia do desenvolvimento, psicofísica, cognição e neurociências têm-se reunido para dar uma visão integrativa do pensamento numérico, essencialmente na caracterização dos sistemas neuro-cognitivos da criança e adulto no processamento e cálculo numéricos. Para além deste aspeto, estudos recentes focam-se também nas relações entre o processamento numérico e outros domínios cognitivos não-numéricos, e as suas implicações para o desenvolvimento das competências matemáticas. A presente dissertação inscreve-se nesta área de investigação ao procurar analisar a relação entre as representações numéricas e a função executiva no processamento numérico mais elaborado.

O primeiro ponto da dissertação de mestrado procura dar uma visão geral do conhecimento atual na área da cognição numérica, decorrente de uma panóplia de estudos com foco principal na origem e desenvolvimento das representações numéricas, e na importância destas e da função executiva para o progresso da aprendizagem da matemática.

No segundo ponto apresenta-se o estudo empírico que procura responder às questões desta dissertação, com as quais podemos retirar algumas conclusões acerca das representações numéricas em crianças do primeiro e quarto anos, e em adultos.

O terceiro ponto dedica-se à sistematização e integração das ideias e conclusões obtidas nos pontos anteriores, considerando a relevância deste estudo no âmbito da cognição numérica. No quarto e último ponto desta dissertação propõe-se um estudo com o intuito de explorar o papel de diversos fatores (ex. o processamento numérico básico, já abordado no primeiro estudo) no sucesso na Matemática enquanto disciplina complexa, numa tentativa de interligar diferentes áreas da Psicologia – a Cognição e a Educação.

1.1. As representações numéricas: caraterísticas e desenvolvimento

Como é do conhecimento geral, os números estão constantemente presentes no nosso quotidiano e a eles recorremos para identificar, ordenar, codificar, discriminar, e quantificar, por exemplo, objetos. Estas competências não seriam possíveis sem a capacidade humana, também partilhada com outros animais, de representar quantidades.

Esta capacidade, também chamada de "sentido de número" (*number sense*) é pré-verbal, ou seja, não necessita do uso de linguagem e é assim independente do ensino formal (Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004). O sistema cognitivo que origina este "sentido de número" assenta portanto em representações de quantidade não-simbólicas e permite-nos determinar, de forma aproximada, a quantidade de objetos num conjunto, compararar o número de objetos em diferentes conjuntos e até efetuar cálculos aritméticos aproximados. Segundo diversos autores, esta capacidade constitui a base para as manipulações numéricas simbólicas desenvolvidas exclusivamente pelos humanos (ex. Dehaene, 1997; Gallistel & Gelman, 1992; Meck & Church, 1983; Restle, 1970). Como referido acima, o "sentido de número" é inato e presente desde o nascimento no homem e noutras espécies animais (Dehaene, 1997; Dehaene, Dehaene-Lambertz, & Cohen, 1998).

Estudos em macacos revelam que estes têm a capacidade de realizar cálculos aproximados sem treino prévio (Flombaum, Junge, & Hauser, 2005), e até mesmo quando as caraterísticas físicas dos objetos a quantificar (ex. alimento) são alteradas. Isto demonstra que estes têm a capacidade de abstrair a quantidade e não apenas particularidades físicas desses objetos.

Por sua vez, Xu e colegas dedicaram-se ao estudo do desenvolvimento do processamento numérico em crianças (Xu & Spelke, 2000; Xu & Arriaga, 2007). As autoras mostraram que crianças com meio ano possuem a noção de quantidades e que as suas representações são imprecisas e sujeitas a um "limite rácio": quanto maior for a distância numérica entre dois conjuntos de pontos, maior a facilidade na sua discriminação (ex. 8 pontos vs. 16 pontos ou 8 pontos vs. 12 pontos). Contudo, a precisão da discriminação numérica melhora com o desenvolvimento (Xu & Spelke, 2000; Xu & Arriaga, 2007), e atinge alguma estabilidade na adolescência (Halberda & Feigenson, 2008). Os bebés mostram também a capacidade de aplicar princípios aritméticos precários e aproximados quando lhes são apresentadas operações básicas de adição e subtração de conjuntos de objetos pequenos (Wynn, 1992). O processo de contagem ocorre por volta dos quatro anos de idade, quando as crianças aprendem os símbolos numéricos e verbais e os associam a conjuntos de objetos (Wynn, 1990).

Deste modo, a cognição numérica não-verbal é limitada a representações não-simbólicas de quantidade e a operações aritméticas rudimentares e aproximadas, comuns a crianças, animais (Cantlon, 2012; Flombaum et al., 2005), e até mesmo a adultos desprovidos da transmissão cultural do número simbólicos, como é o caso de culturas indígenas na Amazónia (ver Gordon, 2004; Pica, Lemer, Izard, & Dehaene, 2004).

É através da capacidade de representação de quantidades que os humanos desenvolvem o sistema numérico simbólico que lhes permite enumerações precisas e cálculos matemáticos complexos (Hubbard et al., 2008; Nieder & Dehaene, 2009).

Por meio de mecanismos de aprendizagem, durante o processo de desenvolvimento das representações numéricas simbólicas, dá-se o mapeamento ou associação das representações de quantidade não-simbólicas pré-existentes aos símbolos e palavras numéricas aprendidas por instrução (Diester & Nieder, 2007; Nieder & Dehaene, 2009). Por exemplo, ao aprender a palavra (um) e o símbolo numérico (1), a criança começa a associá-los à numerosidade 1 (ou conjuntos de “1” objetos), e assim sucessivamente.

Sumarizando, a organização fundamental da cognição numérica é baseada em dois sistemas representacionais: (i) um sistema não-verbal, independente da linguagem, que representa o número de objetos num conjunto de forma aproximada; e (ii) um sistema verbal, dependente da cultura e da linguagem (Dehaene, 1997), derivado de invenções culturais exclusivas do ser humano, que apresenta a quantidade, de forma exata, sob a forma de representações abstratas (ex. números Árabes; palavras numéricas).

Diferentes paradigmas têm sido utilizados no estudo do processamento numérico nas crianças, incluindo a comparação numérica (ex. Moyer & Laundauer’s, 1967; Holloway & Ansari, 2009) e a estimação na linha numérica (ex. Booth & Siegler, 2006).

No que diz respeito à tarefa de comparação numérica, independentemente do tipo de representação numérica (simbólica ou não-simbólica), existe um efeito consistentemente observado quando duas quantidades ou números são comparados: o efeito de distância numérica. Este reflete-se numa maior imprecisão e aumento dos tempos de resposta quanto menor a distância numérica entre os números a comparar. Por exemplo, é mais difícil e demorado distinguir entre 4 e 5 do que entre 4 e 20 (Moyer & Laundauer’s, 1967). Este efeito está também presente em comparações numéricas efetuadas por crianças (Xu & Spelke, 2000) e animais (Dehaene, Dehaene-Lambertz & Cohen. 1998; Starkey & Cooper, 1980). O efeito de distância tem sido associado à sobreposição das representações das quantidades envolvidas na comparação, i.e. magnitudes numéricas mais próximas partilham mais características representacionais (maior sobreposição das suas representações) do que as que estão mais separadas, e são, portanto, mais difíceis de distinguir (ex. Cordes, Gelman, Gallistel, & Whalen, 2001; Dehaene, 1992; Noël, Rousselle, & Mussolin, 2005; Restle, 1970). Porém, outras alternativas explicativas, que apontam para causas pós-representacionais e ao nível da resposta, têm sido avançadas (ver Cohen-Kadosh, Brodsky, Levin, & Henik, 2008; Holloway & Ansari, 2008; Van Opstal, Gevers, Moor, & Verguts, 2008).

Uma vez que o efeito de distância numérica é sempre observado em tarefas de comparação numérica, o que o caracteriza como um marcador comportamental, é uma medida frequentemente utilizada em paradigmas comportamentais para aceder às representações numéricas em estudos de adultos e crianças (ex. Butterworth, 2005; Dehaene & Changeux, 1993; Dehaene, Dehaene-Lambertz, & Cohen, 1998; Holloway & Ansari, 2009; Moyer & Laundauer's, 1967; Sekuler & Mierkiewicz, 1977).

Holloway e Ansari (2009) tentaram compreender qual a diferença do papel dos estímulos simbólicos (números árabes) e estímulos não-simbólicos (conjunto de pontos) na relação entre as representações numéricas e aspetos de processamento mais elaborados (ex. cálculo). Com esse objetivo, recolheram medidas que refletiam o domínio da matemática de crianças dos 6 aos 8 anos, e os seus tempos de resposta na tarefa de comparação numérica. Com estes tempos de resposta, calcularam o efeito de distância para cada criança. Os autores concluíram que as diferenças individuais no efeito de distância, especificamente na comparação simbólica, estavam relacionadas com o desempenho na matemática. Por sua vez, sabe-se que este efeito diminui com a idade, e pensa-se que pode refletir uma maior precisão das representações (Holloway & Ansari, 2008; Sekuler & Mierkiewicz, 1977). Consequentemente, os autores sugeriram que a forma como é feito o mapeamento não-simbólico – simbólico (ou o acesso às informações numéricas) tem implicações no desenvolvimento das aptidões matemáticas (Halberda, Mazzocco & Feigenson, 2011; Holloway & Ansari, 2009).

Para além da tarefa de comparação de numerosidades, a tarefa da estimação numérica tem sido também utilizada em paradigmas comportamentais para aceder às representações numéricas (Sieger & Opfer, 2003; Siegler & Booth, 2004; Booth & Siegler, 2006/2008). Segundo os autores, esta tarefa é pura no sentido em que não requer conhecimentos matemáticos prévios e tampouco conhecimentos de mensuração em nenhuma outra escala (Booth & Siegler, 2006). Nesta tarefa, os participantes têm de indicar, numa linha numérica, em que apenas é dada a informação das extremidades – 0 e 100 ou 0 e 1000 –, a posição de variados números de 1 a 100, ou de 1 a 1000, respetivamente. Recorrendo a esta tarefa, Booth e Siegler (2006) estudaram as diferenças no desenvolvimento e diferenças individuais na estimação numérica. Para tal, utilizaram a escala 0-100 em crianças desde a pré-escolar ao terceiro ano, e a escala 0-1000 no segundo e quarto anos. Os autores verificaram que as crianças mais pequenas, principalmente as do ensino pré-escolar, tendiam a sobrestimar a magnitude dos números pequenos dando assim origem a uma função logarítmica das estimativas dadas. Mais especificamente, as estimativas dadas pelos participantes relativamente à posição do número-alvo e a sua real posição tendiam a ser mais discrepantes para números pequenos. A pouca familiaridade com números maiores, pode repercutir-se numa sobrevalorização dos números pequenos (Slausser, Santiago, & Barth, 2013) e a uma desvalorização da distância efetiva entre os números maiores (Siegler & Booth, 2004).

Com a escolaridade, e já no final do ensino primário, assiste-se a uma transformação da relação logarítmica para linear entre as estimativas dadas e a posição real do número, que se julga ser resultante de um aumento na precisão das representações numéricas. Segundo os autores, esta observação parece refletir um mapeamento mais preciso entre as representações numéricas não-simbólicas e simbólicas. Este aspeto é essencial para a aprendizagem de novos problemas de aritmética (Booth & Siegler, 2008), aritmética com frações, memória dos números, e outros aspetos do conhecimento matemático (Halberda et al., 2008; Holloway & Ansari, 2009). À semelhança do estudo de Holloway e Ansari (2009), as alterações na estimação numérica, estavam também relacionadas com o conhecimento aritmético pré-teste e com a aprendizagem de respostas a problemas novos (Booth & Siegler, 2008), bem como com um teste de matemática estandardizado (Booth & Siegler, 2006).

Por fim, existem já diversos estudos semelhantes em crianças com discalculia. Esta condição caracteriza-se por ser "um défice muito específico e seletivo nas capacidades básicas de compreensão de números, que leva a uma série de dificuldades na aprendizagem do número e da aritmética" (Butterworth, 1999, p. 455). Relativamente ao desempenho nas tarefas descritas acima, estas crianças mostram um processamento numérico ineficiente, o que as leva não só a despender mais tempo na execução das tarefas, assim como a apresentar persistentemente uma elevada imprecisão na tarefa da linha numérica (ex. Larderl, Fussenegger, Moll, & Willburger, 2009; Landerl, 2013). Uma vez que outros domínios cognitivos também envolvidos no processamento numérico, como a memória e inteligência, não estão afetados na discalculia, parece existir um défice específico no processamento numérico básico nestas crianças (Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004). Não obstante, outros estudos divergentes apontam para um défice nas capacidades verbal e visuo-espacial nestas crianças (ex. Geary, 2004; Passolunghi & Siegel, 2001/2004; Szucs, Devine, Soltesz, Nobes, & Gabriel, 2013), bem como em funções atencionais (Szucs et al., 2013).

1.2. Bases neuronais do processamento numérico

Para além de estudos comportamentais, ao longo das últimas décadas tem havido um acentuado interesse nos substratos neuronais do processamento numérico e no seu desenvolvimento. Vários estudos descrevem as diferenças entre crianças e adultos no processamento numérico, especialmente em duas áreas cerebrais: o córtex pré-frontal e o córtex parietal (Cantlon, Brannon, Carter, & Pelphrey, 2006; Izard, Dehaene-Lambertz, Dehaene, 2008; Rivera, Reiss, Eckert, & Menon, 2005).

Dados provenientes de estudos de neuro-imagem funcional (IRMf) em crianças e adultos mostram ativação de regiões do sulco intraparietal (SIP) durante a representação e processamento de magnitudes quer na notação simbólica quer não-simbólica (Cantlon et al., 2006; Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003; Izard, Dehane-Lambertz, & Dehaene, 2008). No entanto, os estudos revelam que nas crianças há uma maior ativação das áreas frontais e a ativação parietal é lateralizada à direita, enquanto a ativação frontal nos adultos é menor e estes exibem uma ativação parietal bilateral (Ansari, Garcia, Lucas, Hamon, & Dhital, 2005). Outras regiões também envolvidas no processamento numérico são o córtex temporoparietal esquerdo, regiões temporais superiores, e o giro supramarginal (Ansari & Dhital, 2006).

As mesmas regiões estão igualmente envolvidas no cálculo mental. Com o objetivo de compreenderem as alterações específicas do desenvolvimento neuronal aquando o cálculo aritmético, Rivera e colaboradores (2005) utilizaram uma tarefa de julgamento de somas do tipo (a+b=c) em crianças e adolescentes dos 8 aos 19 anos. Os autores verificaram que as crianças exibem uma maior ativação do córtex pré-frontal dorsolateral e ventrolateral, o que sugere um maior uso de recursos atencionais e de memória. Em contrapartida, os adultos demonstraram uma maior ativação do córtex parietal esquerdo, juntamente com o giro supramarginal e o sulco intraparietal anterior subjacente, assim como o córtex temporo-occipital esquerdo (Rivera et al., 2005) (ver Figura 1).

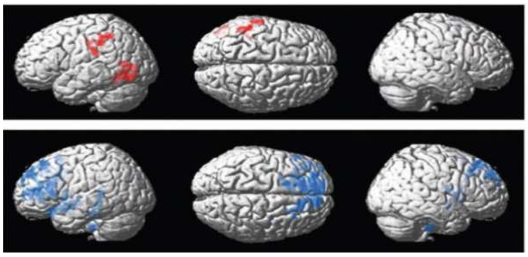


Figura 1:Áreas cerebrais cuja ativação aumenta com o desenvolvimento (em cima) e áreas cuja ativação diminui com o desenvolvimento (em baixo) (Rivera et al., 2005)

As alterações na atividade neuronal associadas ao desenvolvimento observadas nos estudos acima descritos, são também visíveis quando as crianças efetuam aritmética mental (Rivera et al., 2005). Há uma ativação particularmente superior no córtex intraparietal direito com um posterior aumento da ativação no córtex intraparietal esquerdo com o desenvolvimento. O crescente recurso a regiões parietais esquerdas parece sugerir uma especialização destas para o uso das representações simbólicas (Naccache & Dehaene, 2001).

A existência do mesmo padrão de alterações na ativação neuronal com o desenvolvimento para estímulos simbólicos (Rivera et al., 2005) e não-simbólicos (Cantlon et al., 2006) sugere que o desenvolvimento do processamento numérico não-simbólico segue uma trajetória semelhante à especialização hemisférica para estímulos simbólicos (ver Figura 2)

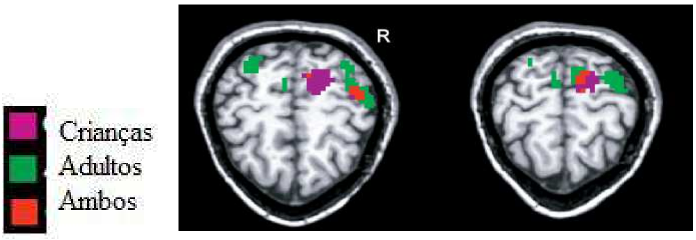


Figura 2: Ativação de regiões do SIP para estímulos não-simbólicos nos adultos (à esquerda) e nas crianças (à direita) (Cantlon et al., 2006)

Os circuitos neuronais no córtex pré-frontal parecem estar também envolvidos no mapeamento entre as representações não-simbólicas e simbólicas. Os simbolos numérics apenas adquirem um significado numérico ao serem associados a representações não-simbólicas de quantidade (Ansari, 2008). Este mapeamento entre formas inicialmente desprovidas de sentido e as categorias semânticas numéricas tem sido hipotetizado como uma função do córtex pré-frontal, conferindo a esta área uma especial importância para a cognição numérica (Diester & Nieder, 2007; Nieder & Dehaene, 2009).

Num estudo de eletrofisiologia, Diester e Nieder (2007) treinaram macacos a associar conjuntos de objetos de diferente número (representações não-simbólicas) a diferentes formas (representações simbólicas). Depois desta aprendizagem, registaram a atividade das células do córtex pré-frontal e do sulco intraparietal, e verificaram que as células do córtex pré-frontal respondiam preferencialmente a determinadas formas de uma maneira que refletia o valor numérico associado. Por outro lado, as células do córtex parietal raramente mostravam este tipo de resposta. Ainda, as células do córtex pré-frontal eram ativadas independentemente do formato simbólico ou não-simbólico em que estas quantidades eram apresentadas, sugerindo que esta região estaria envolvida no mapeamento das formas visuais às numerosidades (Diester & Nieder, 2007).

A região pré-frontal está estrategicamente situada para ser o substrato neuronal destas associações: recebe informação da "forma-a-codificar" do córtex inferotemporal anteior (Ungerleider, Gaffan, & Pelak, 1989) e do córtex parietal posterior, que contém os neurónios-seletivos às respetivas numerosidades (ver abaixo Nieder, Freedman, & Miller, 2002; Nieder & Miller, 2004; Nieder, Diester, & Tudusciuc, 2006). De forma geral, uma vez que os neurónios do sulco intraparietal respondem antes dos neurónios do córtex pré-frontal, pode extrapolar-se que as quantidades numéricas são extraídas do sulco intraparietal e encaminhadas para o córtex pré-frontal, para a implementação das respostas relativamente ao número (Nieder & Miller, 2004).

Uma possível explicação para o efeito de distância discutido acima, advém também de estudos de eletrofisiologia em macacos. Num estudo de 2002, Nieder e colaboradores mostraram que existem células nos córtices parietal e pré-frontal seletivas para quantidades específicas. Estes neurónios estão portanto sintonizados para uma quantidade particular e respondem com ativação máxima a essa quantidade. Todavia, respondem também às quantidades vizinhas com uma progressiva diminuição da sua atividade à medida que estas se afastam da quantidade-alvo, exibindo uma curva de sintonização (*tuning curve*) sob a forma da curva de Gauss (ver Figura 3). Logo, quanto maior a proximidade entre duas quantidades, maior a sobreposição das suas representações (refletidas nas respetivas curvas), e mais difícil e demorada é a sua discriminação. O estudo de Diester e Nieder (2007) mostrou também que as curvas de sintonização para números simbólicos (neste caso as formas) tinham um menor desvio-padrão, i.e. eram mais estreitas que as respetivas não-simbólicas. Isto implica que, para uma mesma distância numérica entre dois números, haja uma menor sobreposição de representações simbólicas relativamente a não-simbólicas, e consequentemente um menor efeito de distância (Roggeman, Verguts, Fias, 2007; Verguts & Fias, 2004) (ver Figura 3).

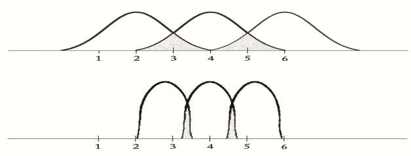


Figura 3: Ilustração da sobreposição das curvas de sintonização aquando a ativação do número “4” em representações não-simbólicas (em cima) e simbólicas (em baixo).

Estudos de neuro-imagem em pacientes com discalculia apontam também para a importância do sulco intraparietal no processamento numérico. A fim de investigar os correlatos neuronais do processamento numérico básico em crianças com discalculia de desenvolvimento e em crianças com desenvolvimento típico, Price e colaboradores (2007) mostraram que o efeito de distância numérica se torna menos evidente em crianças com discalculia enquanto se observa uma menor ativação do sulco intraparietal direito, o que sugere anomalias específicas na neuroanatomia funcional que subjaz ao processamento numérico nestas crianças (Price, Holloway, Räsänen, Vesterinen, & Ansari, 2007). Noutro estudo que procurava caraterizar a ativação neuronal em crianças com discalculia, Kucian e colaboradores (2006) recorreram a tarefas de cálculo mental aproximado (ex. 3+8 = 7 ou 9?), e demonstraram que estas crianças exibiram uma grande variabilidade inter-individual e uma reduzida ativação de áreas como sulco intraparietal, e o giro frontal médio e inferior de ambos os hemisférios (Kucian et al., 2006). Estes resultados também são encontrados em estudos semelhantes com crianças que nasceram até três meses antes do previsto e que apresentam dificuldades de aprendizagem (ver Isaacs, Edmonds, Lucas, & Gadian, 2001).

Em suma, os resultados de estudos tanto em cérebros com desenvolvimento típico como em cérebros de pacientes com discalculia de desenvolvimento sugerem que o sulco intraparietal e o córtex pré-frontal desempenham um papel fulcral no processamento numérico, independentemente da notação (simbólica ou não-simbólica), e que a sua ativação altera ao longo do desenvolvimento (Kaufmann et al., 2009; Kucian et al., 2006; Mussolin et al., 2010; Price et al., 2007).

1.3. A relação entre as representações numéricas, as funções executivas e o desempenho na matemática

Para além da importância no mapeamento entre as representações não-simbólicas e símbolos numéricos, o córtex pré-frontal tem um papel fulcral nas funções executivas (ex.

Shallice & Burgess, 1996). Adicionalmente, o facto de as estruturas cerebrais frontais e parietais que estão envolvidas na memória de trabalho e outras funções executivas estarem também envolvidas no processamento numérico e no mapeamento entre as representações simbólicas e não-simbólicas, sugere a potencial importância da função executiva para o desempenho na matemática (Diester & Nieder, 2007; Kolkman, Hoijtink, Kroesbergen, & Leseman, 2013).

Para melhor caracterizar a função executiva, Miyake e colaboradores (2000) identificaram três subcomponentes: (i) flexibilidade (*shifting*) – mudar de tarefas ou conteúdos mentais; (ii) atualização (*updating*) – monitorizar as representações na memória de trabalho; e (iii) inibição (*inhibition*) – controlar a atenção, pensamentos, emoções, comportamentos, para se sobrepor a disposições internas ou externas (Diamond, 2013).

Diversos estudos de neuro-imagem mostram que, do ponto de vista estrutural, o córtex orbito-frontal, o córtex pré-frontal medial e o córtex frontal superior, são os mais associados a funções como planeamento, atenção e inibição, respetivamente (ex. Collete, 2002), processos inerentes também ao cálculo matemático. A atividade do córtex pré-frontal mantém informação relevante para a tarefa em memória de trabalho – sistema cognitivo responsável por armazenar e integrar informação durante a realização de atividades complexas -, e proíbe informação irrelevante de entrar nesta (ex. Owen et al., 2005). O envolvimento destas regiões na função executiva é também corroborado por estudos de neuropsicologia. Estudos em pacientes com défices nas áreas frontais demonstraram que em tarefas nas quais a exigência de controlo cognitivo aumenta, o desempenho destes é muito inferior comparativamente com os sujeitos normais (ex. Rowbotham, Pit-tem Cate, Sonuga-Barke, & Huijbregts, 2009).

De importância para esta dissertação, a questão do impacto de processos cognitivos não-numéricos (ex. função executiva) e das representações numéricas na aprendizagem da matemática tem sio recentemente investigada (ex. Bull & Scerif, 2001; Mazzocco & Kover, 2007; Kolkamn, Hoijtink, Kroesbergen, & Leseman, 2013). Compreender as diferenças individuais e processos cognitivos envolvidos na aquisição de competências matemáticas representa um papel importante no desenvolvimento da ciência cognitiva (De Smedt, Verschafeel, & Ghesquiere, 2009b).

Sabe-se que o “sentido de número” e as capacidades cognitivas gerais estão na base do desenvolvimento das competências matemáticas, na medida em que a linguagem, a memória de trabalho e perceção visual desempenham um papel importante na ligação entre as palavras e as quantidades na pré-primária, na criação de associações como sistema numérico simbólico (i.e. números árabes), e na construção da representação da linha numérica mental no ensino primário (Von Aster & Shalev, 2007).

Deste modo, os mecanismos cognitivos subjacentes à aquisição matemática, e que podem explicar dificuldades de aprendizagem nesta área, podem ser classificados como de domínio específico ou de domínio geral. Os mecanismos de domínio específico incluem o "sentido do número" e o conhecimento do sistema numérico (i.e. de como os números se inter-relacionam) (Cowan & Powell, 2013). Já os mecanismos de domínio geral incluem o processamento fonológico (Hecht, Torgesen, Wagner, & Rashotte, 2001), a inteligência, velocidade de processamento, memória de trabalho e outras funções executivas (Cowan & Powell, 2013).

Atualmente existe algumas divergências quanto ao relativo contributo de ambos os domínios, geral e específico, nesta temática. Por um lado, estudos empíricos revelam que as capacidades de domínio geral influenciam a aquisição matemática (ex. Bull & Scerif, 2001; Geary, 2011; Mazzocco & Kover, 2007). Por outro, existem estudos que realçam as associações entre o "sentido de número" e a aprendizagem da matemática (ex. De Smedt et al., 2009b; Halberda et al., 2008; Mazzoco, Feigenson, & Halberda, 2011).

No estudo que Halberda e colaboradores (2008) realizaram com o objetivo de compreender a interface entre o sistema numérico não-simbólico e a capacidade matemática simbólica adquirida pelos humanos, foi encontrada uma correlação entre a precisão do sistema numérico não-simbólico e um teste de competências matemáticas estandardizado em crianças com catorze anos. Esta relação manteve-se após o controlo de dezasseis capacidades de domínio geral (ex. inteligência, raciocínio espacial e visual, leitura, *et cetera*), o que aponta para uma relação entre as diferenças individuais na aprendizagem da matemática e na precisão do "sentido de número"(Halberda et al., 2008; Mazzoco et al., 2011).

Paralelamente, num estudo realizado por De Smedt e colaboradores (2009a) crianças de seis anos de idade foram acompanhadas durante um ano de modo a estudar as diferenças individuais na relação entre o efeito de distância numérica e o desempenho na matemática. Os autores verificaram que o efeito de distância numérica predizia a aquisição matemática, e que esta relação era independente da idade, da capacidade intelectual e da rapidez na identificação do número (De Smedt et al., 2009a).

Evidência para a importância do "sentido de número" para as competências matemáticas vem também de estudos com populações com perturbações do neuro-desenvolvimento. Com o intuito de analisar a trajetória de desenvolvimento das representações não-simbólicas em crianças e adultos quer com desenvolvimento normativo quer com

Síndrome de Williams - uma perturbação do neuro-desenvolvimento que se carateriza por dificuldades visuo-espaciais e que também apresenta défices numéricos (ver p. ex. Ansari et al., 2003). Ansari e colaboradores (2007) avaliaram a capacidade de estimar nomear (dizer o número) conjuntos de 5, 7, 9 ou 11 pontos apresentados de modo rápido. Os autores verificaram que no grupo de participantes com Síndrome de Williams, praticamente não se observaram melhorias na execução da tarefa (Ansari, Donlan, & Karmiloff-Smith, 2007).

Apesar de estes estudos apontarem para um papel de sistemas cognitivos de domínio específico na aquisição de competências matemáticas, existe também evidências que valorizam o papel de outros fatores não-numéricos.

Nesta linha, Geary (2011) centrou-se no contributo de competências no número, contagem e aritmética no início do 1º ano de escolaridade, para a evolução na aprendizagem básica de matemática até ao 5º ano, controlando fatores de domínio mais geral, como a inteligência, memória de trabalho, e a velocidade de processamento. Desta vez os resultados demonstraram que as diferenças individuais na evolução da aprendizagem da matemática derivam em parte de uma combinação de capacidades mais gerais, que afetam a aprendizagem em diversos domínios, e de competências quantitativas primárias, essenciais para a aprendizagem, tais como: a compreensão das relações entre números árabes e números escritos (*number words*), as quantidades que estes representam, a capacidade de manipular estas representações, assim como o conhecimento da linha numérica e capacidades básicas aritméticas (Geary, 2011).

Outra linha de evidência para o envolvimento de aspetos executivos no desempenho na matemática advém de estudos do neuro-desenvolvimento. De facto, estudos em crianças com discalculia revelam que uma fraca memória de trabalho reflete-se no uso de estratégias de resolução de problemas ineficazes, no aumento de erros de procedimento, e numa menor recuperação de aprendizagens matemáticas já realizadas (ver Geary, Hoard, Nugent, & Byrd-Craven, 2005). Quer a falta de capacidade de controlo cognitivo (i.e. capacidade de execução de regras, objetivos, intenções) quer uma fraca memória de trabalho parecem ser processos cognitivos específicos que estão na base de uma dificuldade de aprendizagem da matemática (Bull & Scerif, 2001; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Ainda, estudos com foco nas em crianças com neurofibromatose tipo 1, uma perturbação do neuro-desenvolvimento que resulta em dificuldades na aprendizagem da matemática (Cutting, Koth, & Denckla, 2000), revelam que portadores desta perturbação têm uma maior dificuldade em tarefas que avaliam a função executiva comparando com um grupo de controlo (Rowbotham et al., 2009).

A função executiva tem sido também estudada relativamente à sua importância no progresso da aprendizagem da matemática, essencialmente no início do ensino primário (ex. Bull & Scerif, 2001; Mazzocco & Kover, 2007; Passolunghi & Siegel, 2001/2004). Uma vez que as suas diversas componentes não se desenvolvem uniformemente (Diamond, 2013), a influência destas na aprendizagem da matemática tem sido discutida ao longo dos anos. Por sua vez, assiste-se a uma crescente necessidade em diferenciar a função executiva nas suas três componentes (atualização, inibição e flexibilidade) para compreender as suas relações com a matemática e com os seus respetivos precursores (Bull, Espy, & Wiebe, 2008; Bull & Scerif, 2001; Kolkman, Hoijtink, Kroesbergen, & Leseman, 2013) nas diferentes tarefas numéricas (Kolkman et. al, 2013). Ainda que exista uma carência de estudos no que diz respeito a diferenças individuais das componentes da função executiva e das competências numéricas básicas, recentemente foi demonstrado que a capacidade de atualização (*updating*) está intimamente ligada a estas competências em crianças dos cinco aos oito anos (Geary et al., 2005), é preditora de tarefas de comparação numérica e de ligação de número-quantidade (Krajewski & Schneider, 2009), e do aperfeiçoamento da linha numérica (Kolkman et al., 2013).

Em contrapartida, estudos anteriores revelam resultados que enfatizam o papel da flexibilidade e inibição na matemática e nos seus precursores (ex. Bull & Scerif, 2001; Espy et al., 2004; St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006), pelo que se torna necessário estudos mais completos na compreensão desta temática.

Em suma, apesar do papel crucial dos domínios cognitivos mais gerais para matemática, especialmente da memória de trabalho, ainda não é clara a influência destas competências nesta área (Fuchs et al., 2010). A literatura sugere que as crianças devem possuir competências numéricas eficazes para a aprendizagem da matemática, tais como: a compreensão da relação entre o número escrito, número árabe, e as quantidades que os mesmos representam; e a facilidade de manipulação destas representações, conhecimento da linha numérica, e capacidades básicas de aritmética (i.e. estratégias na resolução dos problemas). A exploração da influência da função executiva na área da matemática, e a sua relação com as competências numéricas ao nível básico, como o “sentido de número”, é pois essencial para se compreender todos os fatores necessários e inerentes à aprendizagem da matemática. É este o objetivo geral do estudo que é apresentado de seguida.

2. Estudo I

2.1. Introdução

Neste estudo comportamental procurou-se explorar o relativo contributo das representações numéricas e do "sentido de número" e da função executiva para a aritmética em três fases do desenvolvimento académico.

Contrariamente a estudos anteriores, este estudo usou medidas objetivas de tempos de reação e precisão de resposta para testar a influência da função executiva no processamento numérico a vários níveis de processamento, desde o nível da representação ao processamento mais elaborado. Para tal foram criadas situações experimentais que permitiram observar o desempenho de crianças do primeiro e quarto anos, e de adultos, em tarefas de comparação de magnitudes e estimação numérica (baixo nível de processamento) e de aritmético (médio nível de processamento), assim como em tarefas que avaliaram a função executiva (inibição e flexibilidade mental) e a memória.

Como referido na seção anterior da revisão de literatura, o relativo contributo da função executiva e do "sentido de número" na aquisição de competências formais na área da matemática não está bem estabelecido. Adicionalmente, a maioria dos estudos até à data, compara medidas pouco objetivos em que é difícil destrinçar os diversos níveis de processamento numérico envolvidos.

Com esse objetivo, utilizaram-se as duas tarefas que são sistematicamente usadas para aceder às representações numéricas: comparação de magnitudes (ou comparação numérica) e a estimação numérica. Como a tarefa de estimação reflete apenas alguns aspetos da competência numérica, a tarefa de comparação de magnitudes complementa-a por conter estímulos não-simbólicos. A compreensão do papel do processamento numérico não-simbólico pode ajudar a clarificar a relação entre as capacidades matemáticas e o processamento numérico básico se deve a diferenças individuais nas representações numéricas mentais ou à capacidade em aceder às magnitudes numéricas a partir de símbolos (i.e. números árabes). Uma vez que se pensa que alterações no efeito de distância numérica para representações simbólicas advém de interferência no mapeamento entre as representações numéricas não-simbólicas e simbólicas, os indivíduos com um maior efeito de distância numérica devem possuir representações menos precisas (Holloway & Ansari, 2009), e consequentemente, devem ter menos sucesso na tarefa da linha numérica (Booth & Siegler, 2006). Assim, torna-se possível estabelecer uma relação entre o efeito de distância numérica e/ou linha numérica, e o desempenho na aritmética.

Relativamente à aritmética, foi escolhida a tarefa de adição. Diversos estudos mostram que existe uma evolução progressiva no desempenho nesta tarefa, assistindo-se a uma crescente utilização de estratégias de resolução de problemas (ex. contar pelos dedos, utilizar regras de comutatividade e de associatividade) até ao recurso à memória (ex. Ashcraft, 1992; Baroody, 1992). O auxílio da memória de trabalho é essencial para a extração de "pré-soluções" durante aritmética (ex. Geary, 1993), e outros aspetos da função executiva, por estarem na base das capacidades ordem mais elevada (Van der Sluis, de Jong & Van der Leij, 2007). Deste modo, espera-se que os indivíduos com maiores índices de memória de trabalho e com uma boa flexibilidade mental tenham uma maior capacidade de desempenhar tarefas mais exigentes, neste caso, executar somas.

No âmbito da Cognição Numérica, este estudo é importante visto que (i) permite replicar estudos já realizados em crianças e adultos na população portuguesa; (ii) avalia de uma forma objetiva tanto componentes numéricas como os processos cognitivos não-numéricos (i.e. função executiva), que se pensa estarem na base da aprendizagem nesta área; e (iii) permite estabelecer relações entre as medidas referidas, de forma a extrair conclusões acerca do relativo contributo que cada uma tem para a aritmética. Estas conclusões podem servir de base para estudos de reabilitação cognitiva, com o intuito de minimizar dificuldades experienciadas por crianças com dificuldades de aprendizagem na área da matemática.

Em termos gerais espera-se que os adultos sejam mais eficientes quando se trata de números árabes, e que os mais novos sejam melhores na tarefa com notação não-simbólica. Também se espera que os participantes com menores efeitos de distância e com menores desvios na linha numérica tenham um melhor desempenho na tarefa de adição.

2.2. Método

2.2.1. Participantes

Este estudo foi composto por três amostras distintas: (i) a amostra de adultos, constituída por sessenta e dois adultos saudáveis, com uma média de idades aproximada de 21.8 anos, estudantes do 1º ano do Mestrado Integrado em Psicologia da Universidade de Lisboa que receberam com a sua participação a bonificação de 1 ECTS; (ii) a amostra do primeiro ano foi composta por quarenta e três crianças com uma média de idades de 6.4 anos; e (iii) a amostra quarto ano constituída por trinta e seis crianças com uma média de 9.3 anos de idade.

Todas as crianças apresentavam um desenvolvimento normativo, nenhuma carecia de cuidados educativos especiais, e foram recrutadas de diferentes estabelecimentos de ensino, com estatuto socioeconómico médio. Foram pedidas autorizações aos encarregados de educação para as mesmas poderem participar no estudo. As crianças foram testadas nas respetivas escolas, numa sala isolada, estando apenas presente o experimentador. Porém, os adultos realizaram as tarefas no Laboratório de Psicologia Experimental da Faculdade de Psicologia da Universidade de Lisboa, em sessões de, no máximo, sete pessoas.

Uma vez que nem todos os participantes participaram em todas as tarefas, no Apêndice A encontram-se descritas as características amostrais mais relevantes para cada tarefa. As respetivas instruções das tarefas computarizadas são descritas no Anexo I.

Todas as tarefas foram administradas de forma aleatória.

2.2.2. Tarefas

Comparação de Magnitudes

Materiais. Nesta tarefa foram apresentados conjuntos de pontos brancos (notação não-simbólica) ou números Árabes (notação simbólica) centrados. Os conjuntos de pontos foram apresentados de forma emparelhada dois a dois, separados visualmente por uma distância fixa ao longo dos ensaios (aproximadamente 4.5cm), o que não requer uma segmentação visual, nem o uso da memória de trabalho (Price, Palmer, Battista, & Ansari, 2012). Foram usadas combinações de 1 a 9 numerosidades para criar distâncias entre os conjuntos de pontos/números de 0 a 6. (ex. Distância 1: 4 vs. 5; Distância 6: 2 vs. 8) (Anexos II e III). Na condição não-simbólica, a área de cada ponto, a área total dos pontos e a densidade dos pontos variavam sistematicamente para garantir que os participantes não utilizavam pistas exteriores para responder (Holloway & Ansari, 2009). Os itens foram apresentados através do software *E-Prime (2.0).*

Plano Experimental. O delineamento experimental nesta fase de estudo seguiu um plano 2 Notação (Não-simbólico vs. Simbólico) x 6 Distância (D1 vs. D2 vs. D3 vs. D4 vs. D5 vs. D6) x 3 Grupo (C1 vs. C4 vs. Adultos), constituindo a última a variável interparticipantes. Os tempos e precisão das respostas constituíram as variáveis resposta em análise neste estudo.

Procedimento. Com o auxílio de um computador adequado foram apresentados dois estímulos à direita e à esquerda do ponto central de fixação, exibido anteriormente durante

1200 milissegundos, e os participantes tinham que carregar nas teclas “S” ou “L”, com as mãos esquerda e direita respetivamente, para decidir se o número árabe maior (condição simbólica) ou conjunto de pontos maior (condição não-simbólica) se encontrava do lado esquerdo ou direito. Os estímulos permaneciam no ecrã até o participante responder (ver Figura 4).

Em cada condição (simbólica e não-simbólica) existiu uma fase de treino (ex. 8 vs. 12) com quatro ensaios, seguida da fase de teste composta por setenta e dois ensaios, resultantes da combinação das numerosidades de 1 a 9 (doze ensaios para cada distância). Os estímulos apareceram em ordem descendente (ex. 8 vs. 12) e em ordem ascendente (ex. 2 vs. 8), numa ordem pseudoaleatória, pois nunca apareciam comparações iguais consecutivamente.

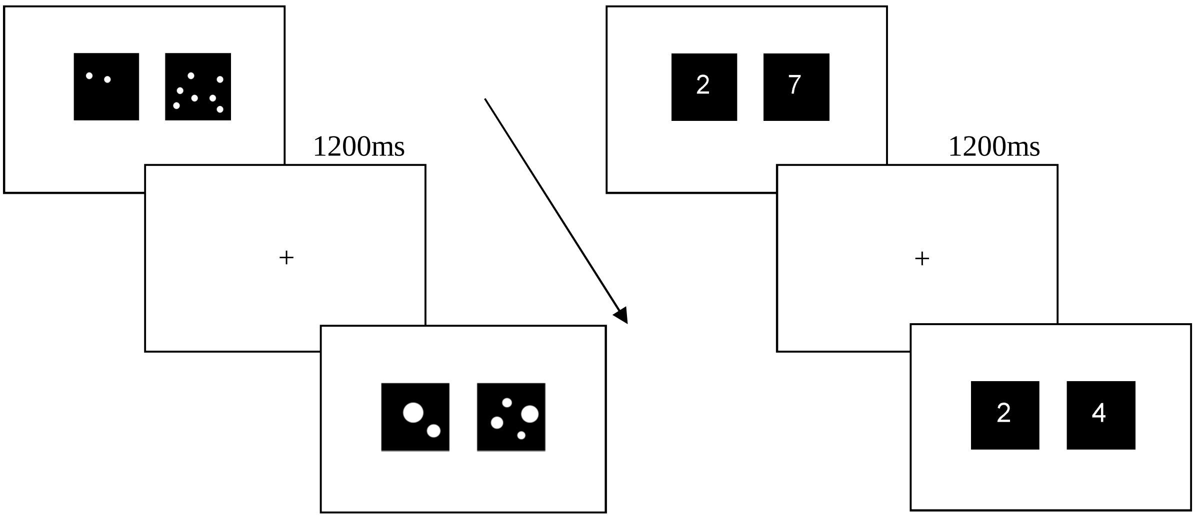


Figura 4: Ilustração dos ensaios durante a fase de teste na tarefa de comparação de magnitudes.

Adição

Materiais. Esta tarefa experimental foi composta por uma série de somas de dois dígitos de 1 a 9 (a + b =?), cuja área total era aproximadamente 20cm x 5cm, com caracteres pretos, num tipo de letra comum, sobre um fundo branco. Nestas somas, o dígito maior foi sempre apresentado do lado esquerdo (ex. 6 + 3), e repartiram-se em 4 categorias distintas: (i) grande – quando o seu resultado era o número de dois dígitos (ex. 6 + 4 = 10); (ii) pequena – quando o seu resultado era um número inferior a 10 (ex. 6 + 3 = 9); (iii) empate – quando os números da soma eram iguais (ex. 6 + 6 = 12); e (iv) identidade – quando o número 0 era incluído na soma (ex. 6 + 0 = 6) (Anexo IV). Os itens foram apresentados através do *software E-Prime (2.0).*

Plano Experimental. Nesta tarefa seguiu-se um plano 4 Categoria (Grande vs. Pequeno vs. Empate vs. Identidade) x 3 Grupo (C1 vs. C4 vs. Adultos), sendo esta última a variável interparticipantes. Os tempos e precisão de respostas constituíram as variáveis resposta em análise nesta tarefa.

Procedimento. Os estímulos foram apresentados no centro de um ecrã de um computador adequado. Era pedido aos participantes que carregassem na tecla "ENTER" o mais rápido possível no momento em que soubessem a resposta ao problema. As somas permaneciam no ecrã até que o participante carregasse na tecla. De seguida, tinham que digitar o resultado, para o qual dispunham o tempo que necessitassem. Um ecrã em branco foi apresentado durante 1500ms entre cada ensaio (ver Figura 5).

Todos os participantes tinham que responder a 10 ensaios de treino apenas com itens de identidade (e.g. 12 + 0) e, numa fase posterior, respondiam a cinquenta e seis ensaios.

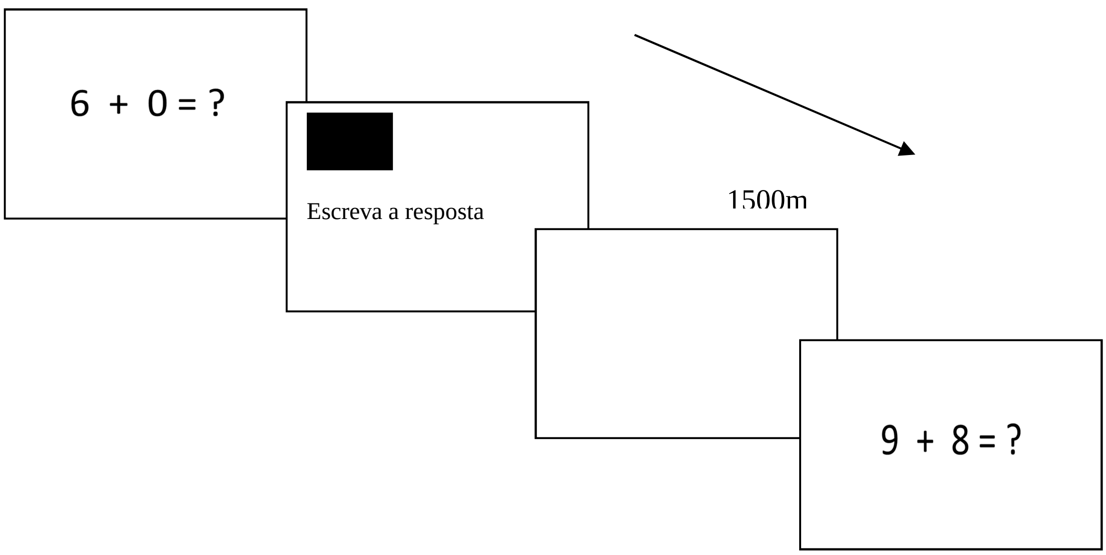


Figura 5: Ilustração dos ensaios durante a fase de teste na tarefa de adição.

Função Executiva

Materiais. Para esta tarefa foi criado um conjunto de setas verdes e vermelhas de 20cm x 5cm, sobre um fundo branco (Anexo V). A Tarefa Espacial de Stroop (*Spacial Stroop Task*) está inserida na Bateria Automatizada de Testes Neuropsicológicos de Cambridge (*Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery*; CANTAB; Sahakian et al., 1988). Os itens foram apresentados através do software *E-Prime (2.0).*

Plano experimental. O *design* desta tarefa foi: 2 Inibição (Não, Sim) x 2 Flexibilidade (Não, Sim) x 3 Grupo (C1, C4, A). Novamente, os tempos e precisão das respostas constituíram as variáveis resposta em análise deste estudo.

Procedimento. Neste teste foram apresentadas setas, cuja área total era aproximadamente 20cm x 5 cm, sob um fundo branco no centro do ecrã do computador, que podiam estar a apontar para a esquerda ou direita. Os participantes tinham que fornecer respostar compatíveis na Parte 1 da tarefa, respostas incompatíveis na Parte 2, e ambas as respostas, compatíveis e incompatíveis, na Parte 3.

Na Parte 1, composta por quarenta ensaios, a seta era verde: quando apontava para a esquerda, os participantes tinham que carregar na tecla esquerda “S”, e quando apontava para a direita carregavam na tecla direita “L”. Na Parte 2, com quarenta ensaios, a seta era vermelha. Desta vez, se a seta apontasse para a direita os participantes tinham que carregar na tecla esquerda “S”; e se apontasse para a esquerda tinham que carregar na tecla direita “L” (ver Figura 6). Na Parte 3, já com oitenta ensaios, a resposta pretendida dependia da cor da seta: quando aparecia uma seta verde, pretendia-se uma resposta compatível (Parte 1); e quando aparecia uma seta vermelha, uma resposta incompatível era requerida (Parte 2) (ver Figura 7).

As respostas tinham que ser gerada em, aproximadamente, 6000ms. Entre a apresentação das setas aparecia uma tela branca durante 1500ms. Os itens foram apresentados através do software *E-Prime (2.0)*

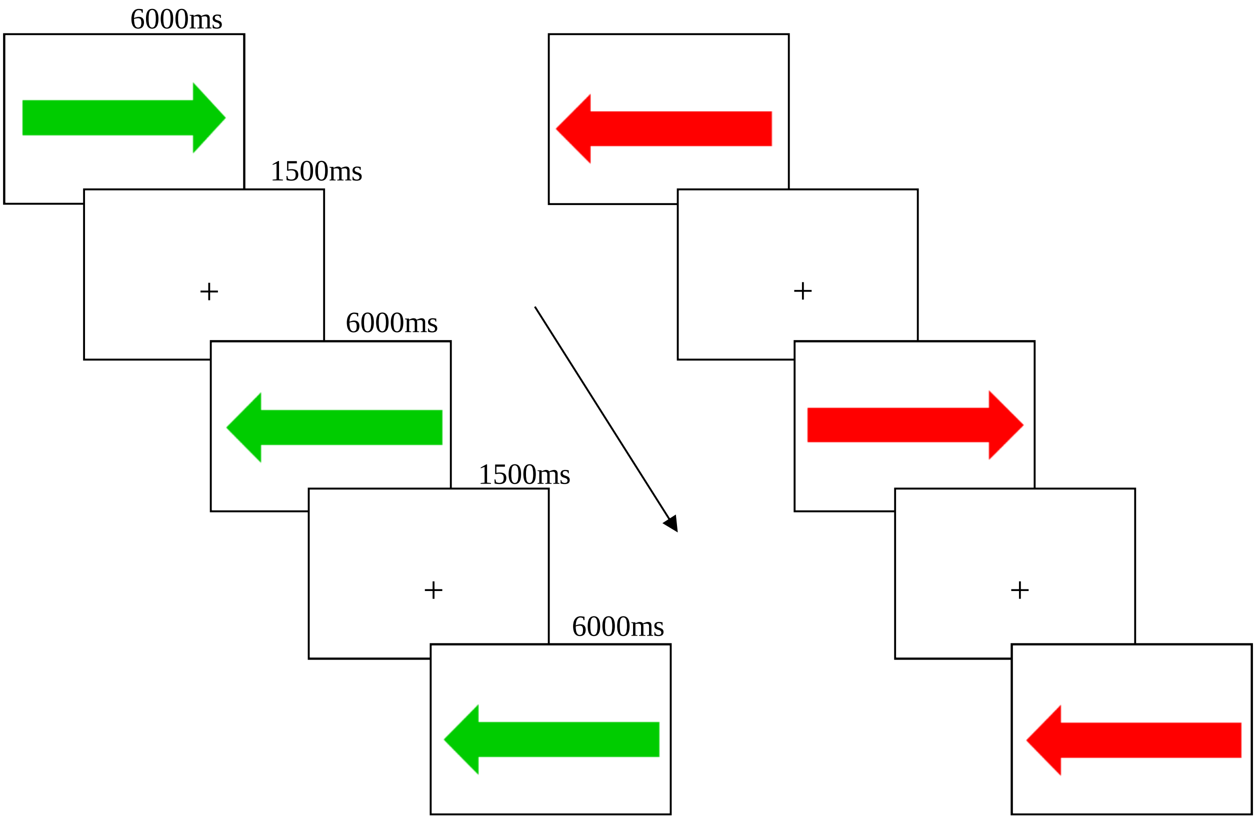


Figura 6: Ilustração dos ensaios da tarefa de Função Executiva da parte 1 (à esquerda) e da parte 2 (à direita).

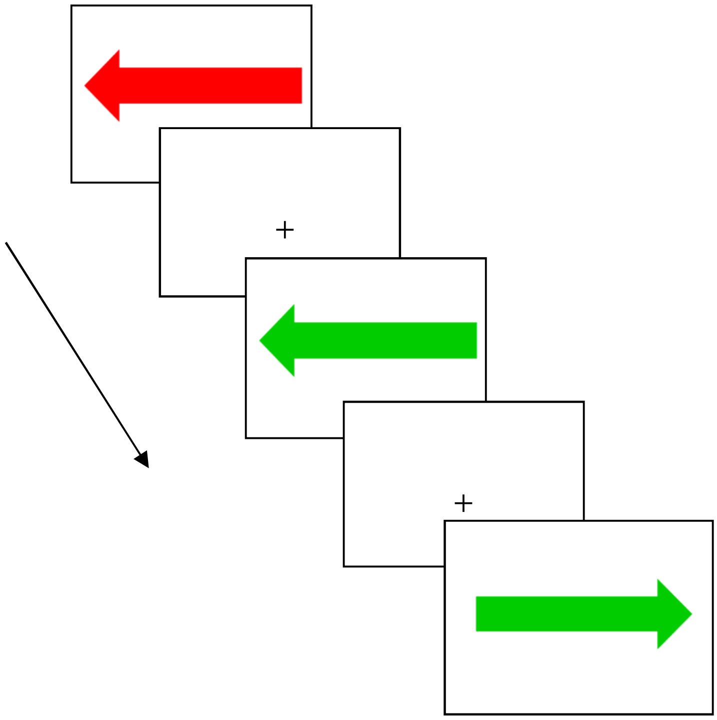


Figura 7: Ilustração dos ensaios da tarefa de Função Executiva da parte 3.

Linha Numérica

Materiais. Na tarefa da linha numérica (“número-posição”) foram apresentadas uma série de problemas/folhas de papel, que continham imagens de uma linha de 25cm legendada em ambas as extremidades, esquerda e direita, com os números 0 a 100, respetivamente (ver Figura 8).

Procedimento. Em cada linha foi apresentado aos participantes um número (ex. 24) no canto superior da folha e foi-lhes pedido que estimassem a sua posição na linha horizontal, intersectando-a num ponto. Após um problema-exemplo (a posição do número 50), seguiam-se aleatoriamente 25 problemas, cada um correspondendo a um número diferente (números-alvo: 3, 6, 8, 9, 12, 15, 17, 18, 21, 23, 24, 29, 33, 35, 39, 42, 44, 48, 52, 57, 61, 61, 66, 73, 79, 84, e 92). A possibilidade de efetuar qualquer tipo de medições foi proibida.

Figura 8: Ilustração de um problema da tarefa da Linha Numérica.

Memória

Materiais. Recorreu-se à tarefa de *Memória de dígitos* da WISC-III (Wechsler, 2002a), equivalente ao *Backward Digit Span*, como uma medida bem-validada da memória de trabalho que requer o sistema executivo e o fonológico (ver Richardson, 2007). Também conhecida como *Forward Word Span* (Passolunghi & Siegel, 2001), para avaliar a memória verbal foram criados conjuntos de palavras familiares, mantendo-se constante o número de sílabas ao longo dos diferentes conjuntos de cada ensaio, de forma a não influenciar o desempenho dos participantes. Ambas as tarefas eram compostas por seis diferentes conjuntos de palavras/algarismos, constituídos por sua vez desde duas a sete palavras/algarismos (Anexo VI).

Procedimento. Nesta tarefa todos os participantes se encontravam numa sala isolada apenas com o experimentador, de forma a evitar quaisquer interferências na atenção do mesmo. Para avaliar a memória de trabalho, foram apresentados inicialmente os conjuntos de dois algarismos, ao que os participantes tinham de repeti-los na ordem inversa (ex. 5 – 7 → 7 – 5). À medida que os participantes acertavam, progrediam para o conjunto seguinte, mais complexo (i.e. com mais um dígito que o anterior). Caso errassem, era-lhes lido outro ensaio do mesmo conjunto; se errassem este segundo ensaio, a tarefa era dada como terminada e o participante era pontuado com o número de dígitos do conjunto anterior.

Relativamente à memória verbal, a lógica do procedimento era semelhante. Os participantes respondiam primeiro ao conjunto constituído por apenas duas palavras, ao que tinham que repeti-las na mesma ordem. A regre da pontuação seguiu também a mesma lógica do teste supracitado: a tarefa terminava quando o participante errava nos dois ensaios do mesmo conjunto, e era pontuado com o número de palavras do conjunto anterior.

2.2.3. Análise Estatística

Uma vez que nem todos os participantes completaram todos os testes, nas análises de cada tarefa foram incluídos os respetivos participantes que a completaram (Apêndice A). Todos os cálculos foram efetuados com recurso ao *software* IBM SPSS *Statistics* 22 e foi utilizado para todas as conclusões um nível de significância global de 5%. Para a análise das tarefas experimentais (comparação de magnitudes, adição e função executiva) conduziram-se ANOVAs para cada variável dependente (tempo de reação e precisão), e os respetivos resultados encontram-se sumariados nos Apêndice C. As médias, e desvios-padrão, das variáveis dependentes por grupo constam no Apêndice B. De modo a explorar as interações encontradas, realizaram-se comparações múltiplas das médias marginais estimadas com o teste de Bonferroni, de forma a identificar pares de médias significativamente diferentes. As análises seguiram um plano fatorial na comparação de magnitudes de 6x3x2, na adição de 4x3 e na função executiva de 3x2x2. Nas tarefas de memória realizaram-se ANOVAs à média de palavras recordadas por cada participante; e na tarefa da linha numérica conduziu-se uma ANOVA à mediana dos desvios de cada número dado por cada participante.

Para a análise de correlações foram incluídos os participantes que realizaram todas as tarefas. Efetuou-se o teste de correlação de Pearson e uma posterior análise de regressão múltipla hierárquica

2.3 Resultados

Em todas as tarefas computorizadas foram excluídos os participantes cujos acertos nos ensaios revelaram ser inferiores a 200ms e acima de três desvios-padrão acima da média do grupo.

2.3.1. Comparação de Magnitudes

Foram efetuadas ANOVAs mistas de medições repetidas à média dos tempos de reação e precisão de resposta com o fator distância (seis níveis: distâncias de 1 a 6) e fator notação (dois níveis: simbólico vs. não-simbólico) como variáveis intra-participantes, e grupo (três níveis: C1, C4 e Adultos) como variável inter-participantes. Uma vez que o pressuposto de esfericidade foi violado, todos os efeitos intra-participantes são descritos com recurso ao ajustamento de Greenhouse-Geisser.

Tempo de reação. Verificou-se um efeito principal de distância, $F\ (2, 196) = 149.674$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0.574$, com todos os níveis diferentes entre si ($p < 0.001$): distâncias menores apresentam tempos de reação mais elevados, e distâncias maiores valores mais reduzidos. Verificou-se também um efeito de grupo, $F\ (2, 124) = 198.288$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0.762$: os tempos de respostas diminuem com a escolaridade, sendo todos os grupos diferentes entre si ($p < 0.001$), - tal como verificado nas comparações múltiplas. Apesar de os resultados não demonstrarem diferenças estatísticas quanto à notação, é visível na Figura 9 uma tendência para a média dos tempos de reação dos grupos C1 e C4 ser menor quando a notação é não-simbólica, enquanto os Adultos apresentam um padrão inverso. Por fim, verificaram-se as seguintes interações: Distância x Grupo, $F\ (3, 196) = 14.999$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0{,}195$, Notação x Distância, $F\ (2, 183) = 57.924$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0.318$, e Notação x Distância x Grupo, $F\ (3, 183) = 13.974$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0.184$.

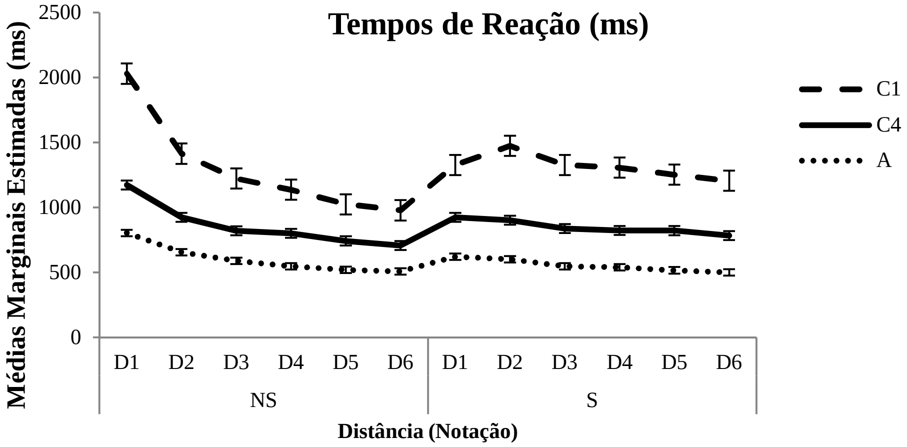


Figura 9: Gráfico da média dos tempos de reação na tarefa de comparação de magnitudes para as distâncias D1 a D6, para todos os grupos e notações. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. NS = Não-simbólico. S = Simbólico. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

Para uma compreensão da origem destas interações foram feitas ANOVAs idênticas para cada grupo quando este fator estava presente, ou para cada notação isoladamente quando esta fazia parte da interação. A interação notação x distância revela que o efeito de distância não foi igual para as duas notações. O efeito de distância está presente em ambas as notações – não-simbólica, $F\ (1, 150) = 81.892\ p < 0.001\ \eta^2 = 0.394$, e simbólica, $F\ (1, 150) = 36.168\ p < 0.001\ \eta^2 = 0.223$. Porém, enquanto na notação não-simbólica todas as distâncias diferem entre si ($p < 0.001$), na notação simbólica os resultados são mais heterogéneos: as distâncias 1 e 2 diferem das restantes ($p < 0.001$), mas não entre si; a distância 3 só não difere da distância 4 ($p > 0.05$), a distância 4 não difere da 5 ($p > 0.05$), e a distância 5 já não difere da 6 ($p > 0.05$) (ver Figura 9).

Para melhor explicar as interações grupo x distância e a tripla interação grupo x notação x distância, e de forma a quantificar as diferenças individuais no efeito de distância numérica para cada notação e grupo, utilizou-se a seguinte medida de distância (Holloway & Ansari, 2009): os tempos de reação de comparações com maior distância numérica (média das distâncias 5 e 6) foram subtraídos aos tempos de comparações com menor distância (média das distâncias 1 e 2), e depois divididos novamente pelos tempos de reação de comparações com maior distância (média das distâncias 5 e 6). Desta forma, o efeito de distância (ED) foi captado numa medida apenas, usada também na análise de correlação.

Após a realização da ANOVA à média dos tempos de reação do ED verificou-se que os grupos diferem significativamente entre si, $F\ (2, 124) = 6.628\ p = 0.002\ \eta^2 = 0.097$, bem como as notações, F (1, 124) = 135.003 p <0.001 η^2 = 0.521. Por um lado, o primeiro ano revela diferenças em relação ao quarto ano (p = 0.003) e adultos (p = 0.011), com valores significativamente superiores. Por outro, os três grupos foram mais lentos na notação não-simbólica do que na simbólica (ver Figura 10). Observou-se também um efeito de interação entre o grupo e notação, F (2, 124) = 11.927 p <0.001 η^2 = 0.161, que indica que o efeito de distância numérica nos grupos difere nas duas tarefas. Enquanto o ED na notação simbólica foi significativamente inferior nos adultos, comparando com o primeiro (p = 0.018) e quarto anos (p = 0.024), na notação não-simbólica não foram observadas diferenças entre as crianças do 4º ano e adultos (p> 0.05), embora ambos tenham revelado um ED menor que as crianças do 1ºano [4º ano (p =0.001); adultos (p <0.001)].

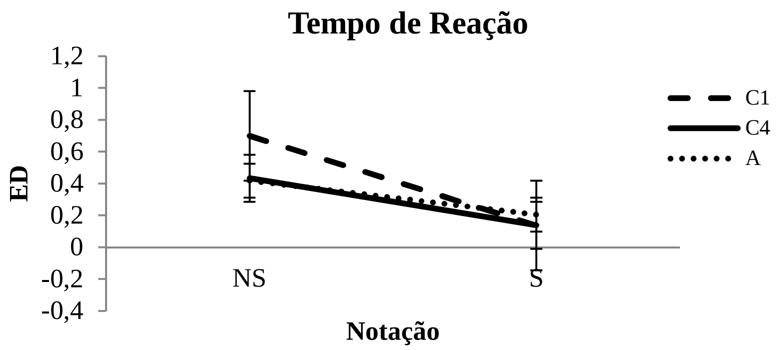


Figura 10: Gráfico da média dos tempos de reação da medida de distância numérica na tarefa de comparação de magnitudes no primeiro (C1) e quarto (C4) anos de escolaridade. A = Adultos. NS = Não-simbólico. S = Simbólico. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

Precisão. Efetuou-se uma análise semelhante à dos tempos de reação e verificou-se um efeito de distância, F (3, 384) = 81.32 p <0.001 η^2 = 0.396. As estatísticas t com a correção de Bonferroni demonstram que nas distâncias 1, 2 e 6 há uma diferença estatisticamente significativa na percentagem de acertos (p <0.001), e que as distâncias 3, 4 e 5 não apresentam diferenças entre si. Como se pode ver na Figura 11, as distâncias menores (1 e 2) têm uma média de acertos inferior comparativamente com as distâncias maiores (5 e 6). Verificou-se também um efeito de notação, F (1, 124) = 8.493 p = 0.004 η^2 = 0.064, com uma maior percentagem de acertos na notação não-simbólica (p = 0.004). Ainda, observou-se um efeito de grupo, F (2, 124) = 15.96 p <0.001 η^2= 0.205, pelo que os três grupos diferem de forma significativa entrei si (p <0.05): os adultos apresentam uma maior percentagem de acertos que as crianças. Por outro lado, são ainda evidentes a interações Distância x Grupo, F (6, 343) = 2.264 p = 0.035 η^2 = 0.035, e Distância x Notação, F (3, 407) = 5.45 p = 0.001 η^2 = 0.016.

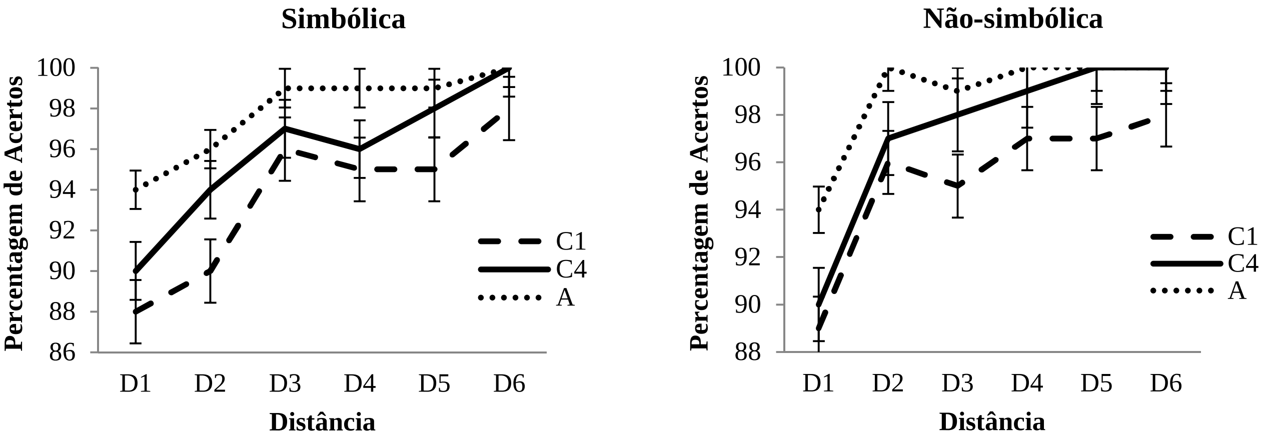


Figura 11: Gráfico da precisão média na tarefa de comparação de magnitudes para as distâncias D1 a D6 de todos os grupos na notação simbólica (à esquerda) e não-simbólica (à direita). C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

Para melhor compreender estas interações, e à semelhança da análise dos tempos de reação, os efeitos de distância numérica para a precisão de resposta foram calculados e analisados da mesma forma. Novamente observou-se uma diferença significativa no ED entre grupos, F (2, 124) = 6.524 p = 0.002 η^2= 0.095, sendo que os adultos exibiram um ED menor que as crianças em ambas as notações (p = 0.009). Por fim, o ED para a precisão foi também diferente nas duas notações: o ED foi menor na notação não-simbólica nos três grupos, F (1, 124) = 5.615 p = 0.019 η^2= 0.043 (ver Figura 12). Porém, não existiu interação entre o fator notação e grupo.

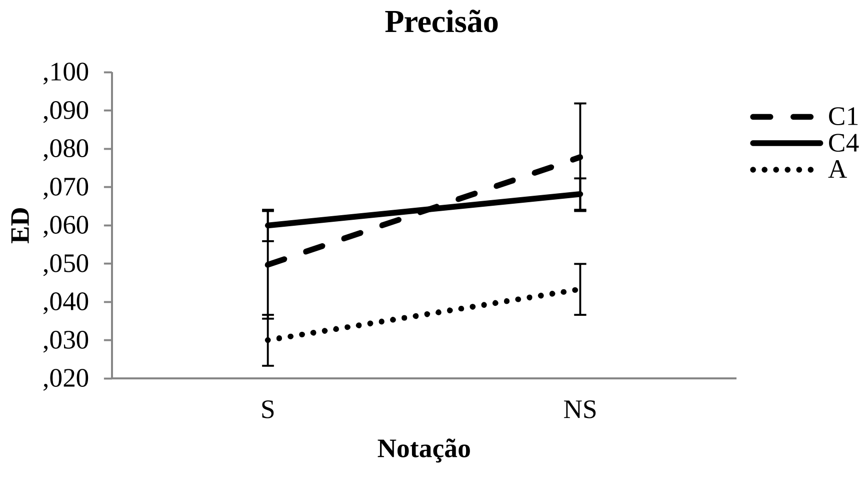


Figura 12: Gráfico da precisão média da medida de distância numérica na tarefa de comparação de magnitudes no primeiro (C1) e quarto (C4) anos de escolaridade. A =Adultos. NS = Não-simbólico. S = Simbólico. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

2.3.2. Adição

Tempos de Reação. Com os dados obtidos através de uma ANOVA da média dos tempos de reação entre as quatro categorias (grande, pequeno, empate, identidade) e os três grupos, verificou-se um efeito de grupo, $F (2, 116) = 171.966$ $p <0.001$ $\eta^2= 0.748$, com uma diferença significativa entre os três quando comparados dois a dois ($p <0.02$). No geral, os tempos de resposta parecem diminuir com a escolaridade: o primeiro ano revelou uma maior lentidão na execução das somas relativamente aos adultos, que foi o grupo mais rápido (ver Figura 11). Foi também evidente um efeito de categoria, $F (2, 239) =215.392$ $p <0.001$, $\eta^2= 0.65$, ou seja, observaram-se diferenças no desempenho dos participantes ao longo das quatro categorias, com especial destaque à diferença significativa entre os tempos de reação da categoria "grande" e os tempos de reação da categoria "identidade", que revelaram valores significativamente superiores e inferiores, respetivamente, quando comparados com as duas categorias restantes ($p <0.001$) (ver Figura 13).

Por fim, verificou-se uma interação significativa entre categoria e grupo, $F (4, 239) = 96.679$ $p = 0.001$ $\eta^2= 0.625$, que reflete uma diferença mais acentuada nos tempos de resposta entre as diferentes categorias no grupo do primeiro ano, relativamente aos restantes grupos.

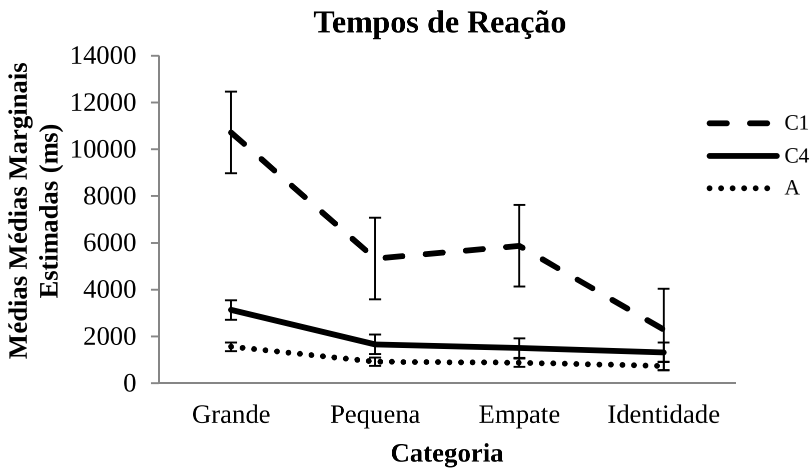


Figura 13: Gráfico da média dos tempos de reação na tarefa de adição de todos os grupos e categorias. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

Precisão. Assim como nos tempos de reação, a análise estatística da percentagem de acertos revelou um efeito de grupo, $F (2, 116) = 18.073$ $p <0.001$ $\eta^2= 0.238$, devido a uma menor percentagem de acertos exibida pelo primeiro ano que difere dos restantes grupos ($p <0.001$). Foi também evidente um efeito de categoria, $F (2, 211) = 37.334$ $p <0.001$ $\eta^2= 0.243$, com uma maior percentagem de erros na categoria “grande” relativamente às restantes categorias (ver Figura 14). Por fim, existiu uma interação Categoria x Grupo, $F (4, 348) = 5.584$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0.088$. Quando o resultado foi um número superior a 10 (categoria “grande”), o quarto ano foi o grupo com uma percentagem maior de acertos. Por sua vez, o primeiro ano obteve uma maior percentagem de acertos quando a categoria foi “pequeno” do que quando foi “empates”, e os adultos e quarto ano exibiram um padrão inverso, ou seja, tiveram mais facilidade em problemas com números iguais. A categoria “identidade” destacou-se no primeiro ano por possuir a maior percentagem de acertos dentro do grupo ($p < 0.05$).

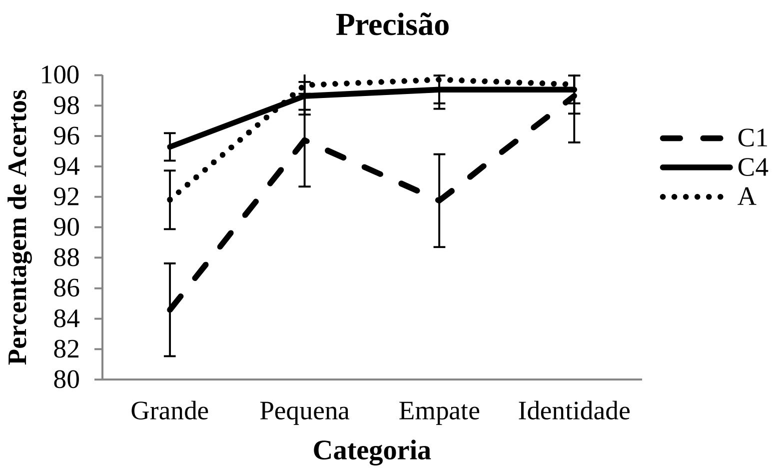


Figura 14: Gráfico da precisão média na tarefa de adição de todos os grupos e categorias. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

2.3.3. Função Executiva

Para a análise desta tarefa foi efetuada uma ANOVA com dois fatores como variáveis intra-sujeitos, inibição e flexibilidade, cada um com dois níveis, e grupo como fator inter-sujeitos. O fator inibição contrastou dois níveis: a média das respostas compatíveis das Partes 1 e de 3 da tarefa – não há inibição e portanto chamou-se a este nível “Não” -, com a média das respostas incompatíveis das Partes 2 e 3 – onde há inibição, ao qual se deu o nome de “Sim”. O fator flexibilidade contrastou a média das respostas compatíveis da Parte 1 e das respostas incompatíveis da Parte 2 – não há flexibilidade (nível “Não”) -, com a média das respostas compatíveis e incompatíveis da Parte 3 – há flexibilidade (nível “Sim”) (Rowbotham et al., 2009). Desta forma, análise resultante foi constituída pela seguinte ANOVA: 2 Inibição (Não, Sim) x 2 Flexibilidade (Não, Sim) x 3 Grupo (C1, C4, A). Esta análise foi efetuada para ambos os tempos de reação das respostas corretas e precisão de resposta.

Tempos de Reação. Os grupos apresentaram diferenças entre si, F (2, 113) = 98.047 p <0.001 η^2= 0.634, pelo que a diferença foi também significativa quando comparados os grupos dois a dois (p <0.001): os adultos revelaram novamente uma maior rapidez na execução da tarefa, seguindo-se do quarto ano e, com maiores valores, o primeiro ano. Apesar de não se ter observado um efeito principal de Inibição (Figura 15), observou-se um efeito de flexibilidade, F (1, 113) = 689.431 p <0.001 η^2= 0.861, as respostas foram mais lentas quando a tarefa requeria flexibilidade do que quando esta não foi necessária, que foi diferente entre grupos, como verificado pela interação grupo x flexibilidade, F (2, 113) = 26.496 p <0.001 η^2= 0.319. Esta interação foi originada por uma maior lentidão observada nas crianças, especialmente no grupo do 1º ano relativamente aos adultos. A inibição x flexibilidade, F (1, 113) = 243.007 p <0.001 η^2= 0.683, foi também significativa. Esta mostrou que a lentificação nas respostas quando a tarefa requeria flexibilidade foi maior quando exista também inibição (ver Figura 16). Por sua vez, este efeito foi modulado pelo grupo, F (2, 113) = 11.250 p <0.001 η^2= 0.116, sendo este efeito mais uma vez, mais acentuado nas crianças do primeiro ano.

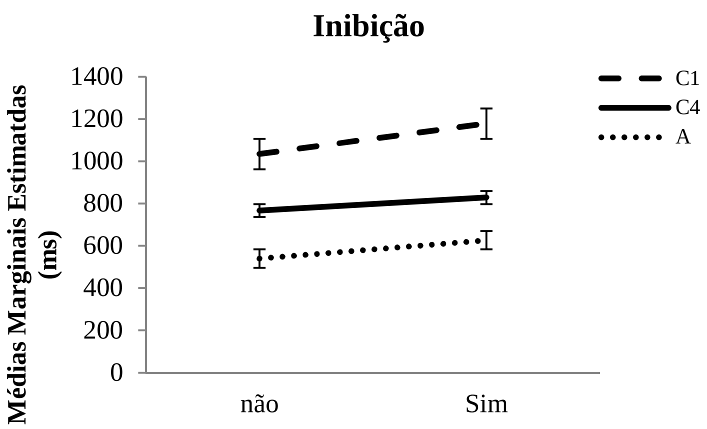


Figura 15: Gráfico da média dos tempos de reação de todos os grupos com (Sim) e sem (Não) inibição na tarefa de função executiva. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

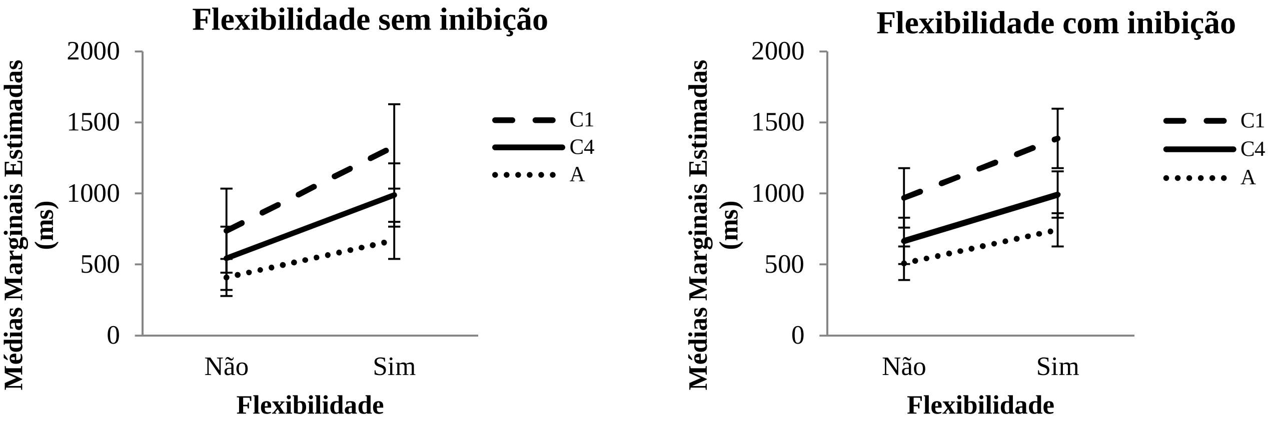


Figura 16: Gráfico das médias do tempo de reação de todos os grupos na condição de flexibilidade, sem inibição (à esquerda) e com inibição (à direita) quando a tarefa de função executiva envolve/não envolve flexibilidade (Não/Sim). C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

Precisão. Tal como na análise anterior, observou-se um efeito de grupo, F (2, 113) = 21.645 p <0.001 η^2 = 0.232, e na análise *a posteriori* verificou-se apenas uma diferença significativa entre os grupos C1 e Adultos (p <0.001) e C1 e C4 (p <0.001). Não se verificaram diferenças significativas no que diz respeito à inibição (ver Figura 17). Foi também evidente um efeito principal de flexibilidade, F (1, 113) = 34.227 p <0.001 η^2 = 0.232: quando a tarefa requeria flexibilidade houve uma menor percentagem de acertos do que quando esta não era necessária; e este resultado também diferiu entre os grupos, como representado pela interação entre o grupo e a flexibilidade, F (2, 113) = 9.725 p <0.001 η^2 = 0.147. Novamente, as crianças tiveram um pior desempenho, observando-se uma menor percentagem de acertos relativamente aos adultos. A interação inibição x flexibilidade foi também significativa, F (1, 113) =25.094 p <0.001 η^2 = 0.182. Esta mostrou-nos que quando a tarefa requer flexibilidade, a percentagem de acertos declina quando existe também inibição (ver Figura 18). Por fim, este efeito também é modulado pelo grupo, F (2, 113) =25.094 p = 0.001 η^2 = 0.113, já que houve uma maior dificuldade das crianças nas tarefas.

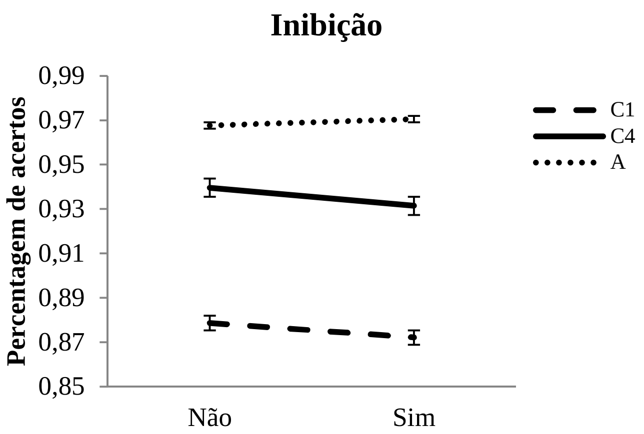
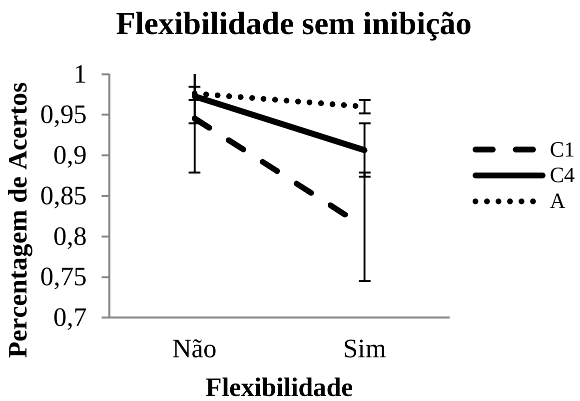


Figura 17: Gráfico da precisão média na condição de inibição na tarefa de função executiva quando a tarefa envolve/não envolve flexibilidade (Não/Sim) para todos os grupos. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.



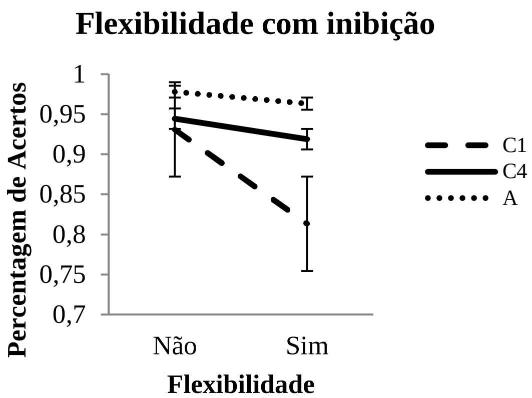


Figura 18: Gráfico da precisão média na condição de flexibilidade, sem inibição (à esquerda) e com inibição (à direita) na tarefa de função executiva quando a tarefa envolve/não envolve flexibilidade (Não/Sim) para todos os grupos. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. Barras de erro equivalem a ± 1 Erro Padrão.

2.3.4. Linha numérica

Foi realizada uma ANOVA à percentagem média de desvios para perceber a sua relação com os grupos (C1, C4 e A). Estes desvios foram calculados através da fórmula: (|estimativa dada – número a estimar|) /escala [e.g. (|10-24|) /100 = 0.14 ou 14% se multiplicarmos por 100]. Para minimizar o efeito dos *outliers* utilizou-se a mediana de desvios de cada criança, ao invés da média dos mesmos. Verificou-se um efeito de grupo, $F(2, 111) = 54.034$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0.493$, devido a uma diminuição dos desvios com a escolaridade.

Numa análise *a posteriori*, constatou-se que os grupos diferiam de forma significativa entre si ($p < 0.001$): o primeiro ano apresentou uma percentagem de desvio de 13%, o quarto ano de 5.4% e os adultos 3.2%. Para verificar que tipo de relação existia entre as estimativas dadas pelos participantes e o número a estimar, calculou-se a mediana das estimativas de cada número dada por cada participante de cada grupo; e, posteriormente, foram comparadas as diferenças entre esse número e o número previsto pelas funções logarítmica e linear (Siegler & Booth, 2006). Como ilustrado na Figura 19, verificou-se que as estimativas evoluíram de uma função logarítmica para uma função linear com a escolaridade. O coeficiente de determinação (R^2) da função linear aumenta de 0.9689 no primeiro ano, para 0.9964 nos adultos, e os respetivos R^2 da função logarítmica decrescem de 0.9102 para 0.8292, o que aponta para uma linearização das estimativas dadas com a escolarização.

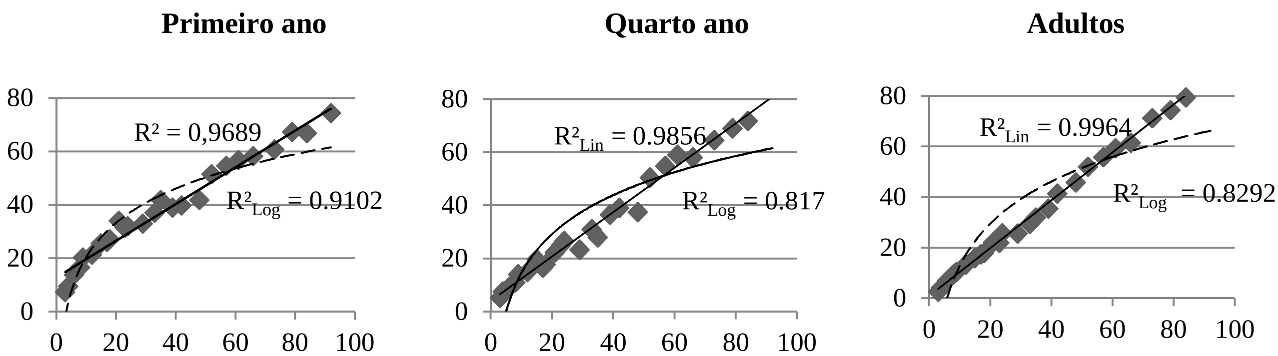


Figura 19: Ajustamento das retas das estimativas dos três grupos. Lin = Linear. Log = Logarítmica.

2.3.5. Memória

Para medir a Memória de Trabalho e a Memória Verbal realizaram-se ANOVAs à média de palavras recordadas, nas quais o fator grupo foi a variável inter-participantes.

Memória Verbal. Verificou-se que existem diferenças significativas entre os grupos, $F(2, 105) = 20.99$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0.286$. Na análise *à* posteriori observou-se que todos os grupos diferiam entre si ($p < 0.05$) (o primeiro ano recorda, em média, 3.9 palavras; o quarto ano 3.8 e os adultos 4.4 palavras), como se pode ver no Quadro 1.

Memória de Trabalho. Também se verificou um efeito de grupo para este tipo de memória, $F(2, 105) = 11.712$ $p < 0.001$ $\eta^2 = 0.182$, resultado que, numa análise *a posteriori*, apenas se destaca pelas diferenças significativas encontradas nos adultos relativamente ao quarto ano (p = 0.034) e ao primeiro ano (p <0.001), por recordar mais dígitos que estes dois últimos grupos [crianças: 3.4 (C1) e 3.8 (C4) palavras; os adultos: 4.4 palavras] (Quadro1). Uma vez que os resultados dos adultos revelaram ser muito inferiores comparativamente com a média do grupo etário de referência (média: 5.8, desvio-padrão: 1.1; Wechsler, 2002b) esta medida não foi incluída na análise de correlação.

Quadro 1

Média de Palavras Recordadas pelos Diferentes Grupos

	Média de Palavras Recordadas (Dp)		
Tipo de memória	C1	C4	A
Memória de trabalho	3.4 (0.1)	3.8 (0.1)	4.4 (0.1)
Memória Verbal	3.9 (0.1)	4.4 (0.1)	5.03 (0.1)

Dp = Desvio-padrão. C1 e C4: crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A: Adultos.

2.3.6. Análise de correções e Regressão múltipla

Nesta análise participaram as seguintes variáveis: Idade, Linha numérica, Aritmética, Função executiva, rapidez/precisão de resposta (média dos tempos de reação e média da percentagem de acertos na tarefa de comparação de magnitudes, para ambas as notações) e Efeito de distância nas notações simbólica e não-simbólica.

Em primeiro lugar, para cada participante, calculou-se a média dos tempos de reação e da percentagem de acertos de todas as distâncias, em cada notação, o que deu origem a duas medidas gerais de rapidez/precisão de resposta (TR_NS e TR_S/ PA_NS e PA_S). Da mesma forma, para representar a função executiva utilizou-se a média das respostas dos ensaios incompatíveis como medida da inibição (In_TR/In_PA), e a média dos ensaios incompatíveis da Parte 3 como medida da Flexibilidade (Flex_TR/Flex_PA), tanto para os tempos de resposta como para a percentagem de acertos. Por fim, a média dos tempos/precisão de resposta das quatro categorias da tarefa de adição foram usadas como medidas compósitas de Aritmética (Arit_TR/Arit_PA). Nesta análise foi também incluída a medida de distância (ED_NS_TR e ED_S_TR/ ED_NS_PA e ED_S_PA) da tarefa de comparação de magnitudes, que corresponde ao efeito de distância numérica para cada indivíduo de cada grupo.

Resumindo, as variáveis independentes para os tempos de reação foram: Idade, Tempos de resposta para a notação não-simbólica (TR_NS) e simbólica (TR_S), Efeito de distância para a notação não-simbólica (ED_NS) e simbólica (ED_S), Inibição (In) e Flexibilidade (Flex) e Linha numérica (Linha). Já as variáveis independentes para a percentagem de acertos foram: Idade, Tempos de resposta para a notação não-simbólica (PA_NS) e simbólica (PA_S), Efeito de distância para a notação não-simbólica (ED_NS) e simbólica (ED_S), Inibição (In), Flexibilidade (Flex) e Linha numérica (Linha).

A fim de compreender as variáveis que mais se correlacionam com a rapidez de execução na tarefa de Aritmética (Arit) (variável dependente), relativamente aos tempos e precisão de resposta, conduziram-se duas análises de correlação de Pearson.

Como ilustrado no Quadro 2, verificou-se que os tempos de resposta na Aritmética se correlacionaram positivamente, e de forma decrescente, com: tempos de resposta para a notação não-simbólica, r = 0.813, p <0.001; Linha numérica, r =0.725, p <0.001, Efeito de distância não-simbólico, r =0.436, p <0.001, e tempo de resposta para a notação simbólica, r =0.182, p = 0.03. Esta variável relacionou-se de forma negativa com: Idade, r = -0.547, p <0.001, Inibição, r = -0.333, p <0.001, Flexibilidade, r = -0.314, p <0.001.

Quadro 2

Resultados das correlações de Pearson respetivas às variáveis dos tempos de reação

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Arit_TR	-	-,547**	,813**	,182*	,436**	-.111	-,333**	-,314**	,725**
2	Idade		-	-,493**	-.009	-,194*	,163*	-.002	-.001	-,472**
3	TR_NS			-	,193*	,680**	-.152	-,163*	-.135	,578**
4	TR_S				-	.049	-.148	-.055	-.054	,176*
5	ED_NS_TR					-	-.098	-.107	-.103	,173*
6	ED_S_TR						-	-.051	-.042	-.038
7	In_TR							-	.976**	-,248**
8	Flex_TR								-	-,232**
9	Linha									-

*p < 0.05. **p<0.01 (unilateral). TR = tempo de reação; NS = não-simbólico; S = simbólico; ED = Efeito de distância. In = Inibição. Flex = Flexibilidade.

De modo a identificar as variáveis que melhor explicaram os tempos de reação da Aritmética, realizou-se uma regressão linear hierárquica. Inseriu-se a variável-controlo idade no primeiro bloco. Posteriormente, as variáveis que se correlacionavam de forma significativa com a variável dependente foram inseridas individualmente, por ordem decrescente, a partir do segundo ao sétimo blocos. Verificou-se que 89.2% da variabilidade total da rapidez na Aritmética foi explicada pelo modelo de regressão ajustado representado no Quadro 3 [Modelo 7: $R^2 = 0.892$; $F (7, 106) = 54.920$, $p < 0.001$]. Ainda assim, as variáveis Efeito de distância na notação não-simbólica, Flexibilidade e Tempos de resposta na notação simbólica, são as que acarretam menos informações para o modelo ($p > 0.05$). Não obstante, já que apenas as variáveis Idade ($p = 0.025$), Tempos de reação na notação não-simbólica ($p < 0.001$) e a Linha numérica ($p < 0.001$) é que acrescentam informação ao modelo, as restantes variáveis não devem ser incluídas na equação do modelo de regressão.

Consequentemente, estes resultados sugerem que uma maior rapidez de resposta na tarefa não-simbólica, um menor efeito de distância não-simbólico, uma menor amplitude dos desvios na linha numérica e um maior controlo inibitório, podem levar a um melhor desempenho da tarefa de Aritmética.

Quadro 3

Resultados da regressão múltipla hierárquica dos tempos de reação na Aritmética

Modelo	Preditor	ΔR^2	β	Sr
1	Idade	0.30***	-0.127*	-0.103
2	TR_TR	0.39***	0.608***	0.316
3	Linha	0.077***	0.282***	0.204
4	ED_NS_TR	0.001	-0.069	-0.046
5	In_TR	0.027***	-0.028	-0.006
6	Flex_TR	0.001	-0.147	-0.031
7	TR_S	0	0.007	0.0074

**p* <0.05 ****p* <0.001 (unilateral). TR = tempo de execução. ED = efeito de distância. NS = não-simbólico. S = Simbólico. In = Inibição. Flex = Flexibilidade.

Relativamente à percentagem de acertos da Aritmética (variável dependente), procederam-se as mesmas etapas que na análise acima, mas com as medidas de precisão ao invés dos tempos de reação. Na análise de correlações significativas, verificou-se que existe relação negativa com a Linha numérica, $r = - 0.256$, $p = 0.003$, e com o Efeito de distância simbólico, $r = -0.223$ $p = 0.011$, e uma correlação positiva com a rapidez de execução para a notação simbólica, $r = 0.225$ $p = 0.009$ (Quadro 4).

Apesar de a idade não ter apresentado uma correlação significativa com a Aritmética, $r = 0.135$ $p = 0.07$, esta foi incluída como variável-controlo, devido aos efeitos de grupo encontrados nas ANOVAs. Foi possível concluir que o modelo mais significativo representado na Figura 20 incluía as quatro variáveis independentes, $F (4, 104) = 3.071$ $p = 0.02$, ainda que apenas a entrada das variáveis Linha (ΔR^2= 0.048, p = 0.023) e Efeito de distância na notação simbólica (ΔR^2= 0.037, p = 0.043) no modelo sejam significativa. Por outras palavras, 32.5% da variabilidade total da percentagem de acertos na Aritmética foi explicada por este modelo de regressão ajustado (Modelo 4). Desta vez, à exceção da Linha numérica, t = - 2.117, p = 0.037, nenhuma das variáveis independentes influencia significativamente o desempenho na Aritmética. Embora não demonstrasse ser muito representativo, este modelo enfatizou a Linha numérica como um dos melhores preditores no desempenho da tarefa (Quadro 5).

Quadro 4

Resultados das correlações de Pearson respetivas às variáveis da precisão na Aritmética

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Arit_PA	-	0.135	-0.053	,225**	0.043	-,223*	0.045	0.079	-,256**
2	Idade		-	,229**	,335**	-,225**	-,193*	0.023	0.054	-,472**
3	PA_NS			-	,274**	-,442**	-0.109	-0.115	-0.104	-,173*
4	PA_S				-	-,221*	-,662**	0.05	0.072	-,306**
5	ED_NS_PA					-	0.113	-0.012	-0.058	,255**
6	ED_S_PA						-	-0.03	-0.071	0.126
7	IC_PA							-	,876**	,192*
8	Flex_PA								-	0.147
9	Linha									-

*p < 0.05 **p<0.01; (unilateral). PA = Percentagem de acertos. NS = Não-simbólico. S = simbólico. ED = Efeito de distância. In = Inibição. Flex = Flexibilidade.

.

Quadro 5

Resultados da regressão múltipla hierárquica da precisão na Aritmética

Percentagem de acertos na Aritmética				
Modelo	Preditor	ΔR^2	β	Sr
1	Idade	0.02	-0.024	-0.024
2	Linha	0.048*	-0.23*	-0.23*
3	ED_S	0.037*	-0.121	-0.163
4	PA_S	0.001	0.039	0.055

*p <0.05. S = Simbólico; TR = Tempo de reação; ED = Efeito de distância numérica; PA = Percentagem de Acertos. Sr = correlação semi-parcial.

2.4. Discussão

Neste estudo procurou-se avaliar de uma forma objetiva tanto componentes numéricas como os processos cognitivos não-numéricos (i.e. função executiva) que se pensa estarem na base da aprendizagem no âmbito da Cognição Numérica, bem como explorar o relativo contributo das representações numéricas, do "sentido de número" e da função executiva para a aritmética em três fases do desenvolvimento académico. Com esse objetivo, utilizou-se tarefas que avaliam componentes do domínio mais geral (ex. função executiva) e mais específico (ex. representações mais básicas) com o intuito de compreender a sua influência no desempenho numa tarefa de Aritmética.

Na nossa linha de hipóteses, esperava-se que os adultos fossem mais eficientes quando se tratasem de números árabes, e que os mais novos fossem melhores na tarefa com notação não-simbólica. Também se esperava que os participantes que demonstrassem menores efeitos de distância na comparação numérica e com menores desvios na linha numérica tivessem um melhor desempenho na tarefa de adição.

Como esperado, na tarefa de comparação de magnitudes observou-se um efeito de distância para ambas as notações em todos os grupos, sendo este efeito mais acentuado na notação não-simbólica. Este resultado corrobora estudos anteriores (ex. Buckley & Gillman, 1974; Holloway e Ansari, 2009; Roggeman et al., 2007) e apoia também a hipótese de que as representações simbólicas são mais precisas que as não-simbólicas, e portanto, quando comparadas, resultam em efeitos de distância menores (Diester & Nieder, 2007; Verguts & Fias, 2004). Importante para este estudo, verificou-se que o efeito de distância diminui com a idade, e de forma diferente dependendo da notação numérica. Assim, enquanto na notação não-simbólica as crianças do quarto ano estão ao nível dos adultos, o efeito de distância é maior para as crianças do primeiro ano. Já na notação simbólica, ambos os grupos de crianças exibiram efeitos de distância superiores aos dos adultos, o que seria expectável devido à evolução das representações internas dos números ao longo do desenvolvimento, com a escolarização (ex. Defever et al., 2001; Holloway & Ansari, 2008/2009, Sekuler & Mierkiewiez, 1697). Por outro lado, observou-se também uma tendência para as crianças mais novas beneficiarem de estímulos não-simbólicos, o que mais uma vez reflete uma reduzida familiarização com estímulos simbólicos relativamente aos restantes grupos (ex. Lipton & Spelke, 2005).

Quanto à tarefa de adição, constatou-se, como esperado, que o primeiro ano obteve um desempenho muito inferior comparativamente com os outros dois grupos e, de forma geral, houve uma maior e menor dificuldade nas categorias “grande” e “identidade”, respetivamente, nos três grupos. Para acrescentar, a facilidade nos problemas “pequenos” em relação aos problemas “grandes” pode dever-se ao facto de nestas crianças as representações de numerosidade pequenas serem mais estabelecidas que as de numerosidades maiores, o que facilita processos de recuperação destas (Lemaire, 2010). Enquanto o quarto ano e os adultos mostraram uma maior rapidez de execução das som as de “empate” ao invés das de categoria “pequeno”, as crianças do primeiro ano exibiram um padrão inverso, o que sugere ainda uma falta de prática destes últimos na automatização de contas básicas, como por exemplo: 1+1=2, 2+2=4, 3+3=6, 4+4=8, 5+5=10, etc… (ver Lemaire, 2010). Um resultado interessante desta tarefa é efetivamente a superioridade do quarto ano em relação aos adultos na realização de contas de categoria “grande”. A maioria das pesquisas apontam para a ideia que os adultos recuperam os resultados de cálculos simples da ativação de redes mentais associativas que ligam as combinações numéricas e as soluções (ex. Ashcraft, 1992; Lemaire, 2010), pelo que seria expetável um melhor desempenho no grupo dos adultos face a esta tarefa. Uma possível explicação para este resultado, e como uma limitação deste estudo, reside na amostra dos adultos recolhida, visto ser composta por participantes que incorporam áreas cujas bases de ensino não se centram nos números, e o seu interesse pelos mesmos é diminuto. Inclusivamente, a partir do 10º ano a frequência com que os alunos lidam com estímulos numéricos vai divergindo consoante o plano curricular. No futuro seria importante incluir neste tipo de estudos adultos que dominam a diferentes áreas de ensino e, deste modo, possibilitar a identificação subgrupos de adultos.

Relativamente à tarefa de função executiva verificou-se que existe uma discrepância entre o primeiro ano e os adultos ao longo da mesma, com os primeiros a apresentar uma maior dificuldade que os últimos, o que é consistente com estudos que já demonstraram o aumento das funções executivas durante a ontogénese humana (ex. Diamond, 2013). No geral, os participantes mostraram maior dificuldade quando se apresentava uma nova tarefa. Assim, demonstraram uma maior dificuldade quando tarefa exigia controlo inibitório. Os participantes mostraram ainda uma dificuldade acrescida quando a tarefa exigia flexibilidade, e essa dificuldade aumentava também quando a tarefa requeria não só flexibilidade como também inibição. Este padrão de resultados é igualmente descrito no estudo de Rowbotham e colaboradores (2009) já abordado, onde são sublinhadas as acentuadas dificuldades que os pacientes com Neurofibromatose tipo 1 demonstram nesta tarefa, possivelmente devido a disfunções no funcionamento cognitivo.

Como já mencionado, existe uma especialização de áreas cerebrais parietais no desenvolvimento do processamento numérico, com uma diminuição do recurso às áreas pré-frontais e, por isso, há uma menor a dependência do processos executivos, atencionais e de memória. Contudo, estudos recentes têm apontado para a ideia que, tal como crianças leigas e inexperientes, crianças peritas na realização de operações aritméticas também mostram uma ativação elevada do córtex pré-frontal, devido à utilização de estratégias de recuperação (Rosenberg-Lee, Barth, & Menon, 2011; Cho, Ryali, Geary, & Menon, 2011). Estas diferenças de ativação podem dever-se à tarefa em si utilizada (ex. adição ou comparação de magnitudes) e ao tipo de funções requeridas aquando a sua realização, o que ainda requer investigação (Cragg & Gilmore, 2014). Por sua vez, a correlação negativa encontrada entre a rapidez de execução na aritmética e as medidas de função executiva (inibição e flexibilidade), juntamente com a inexistência de correlação significativa entre as percentagens de acertos entre estas duas medidas, pode eventualmente espelhar uma ineficiência das estratégias utilizadas pelos participantes, uma vez que as funções executivas revelam ser essenciais na escolha e execução de estratégias aritméticas (Imbo, Duverne, & Lemaire, 2007). No entanto, com os dados descritos, esta conclusão torna-se ambígua.

Nesta linha de resultados, parece útil estudar o grau de ativação do córtex pré-frontal em pessoas em diferentes fases do desenvolvimento (ex. crianças, adolescentes e adultos), durante a realização de tarefas como a comparação de numerosidades, função executiva, memória, e aritmética (i.e. somas, subtrações, multiplicações e divisões); e relacionar as diferentes ativações com as diferentes estratégias utilizadas por cada pessoa na execução de operações aritméticas. Assim, os participantes mais novos devem apresentar uma elevada atividade nesta área ao longo das tarefas, embora mais ténue na tarefa de comparação, e, se utilizarem estratégias como a contagem, a esperada elevada ativação do córtex pré-frontal deve refletir o uso de processos atencionais. Já os adultos devem mostrar: (i) uma reduzida ativação do córtex pré-frontal nas tarefas de comparação de numerosidades; e (ii) uma maior ativação do córtex pré-frontal em contas mais simples e mais complicadas se utilizarem estratégias mais rudimentares (ex. contagem) e mais eficazes (ex. recuperação), respetivamente.

No que diz respeito à tarefa da linha numérica, os resultados encontrados replicam os resultados já encontrados por outros autores. Para além de se observar um decréscimo na percentagem de desvios ao longo do desenvolvimento, o que sugere um aperfeiçoamento das representações (i.e. mais precisas ao longo do desenvolvimento; Booth & Siegler, 2006; Siegler & Booth, 2004; Siegler & Opfer, 2003), é também visível a transformação logarítmica para linear das representações numéricas na escala 0-100. Uma experiência prévia adequada com determinados intervalos numéricos é uma mais-valia no surgir de representações lineares, e a própria utilização de linhas numéricas como ferramenta de instrução pode ser um bom recurso para a linearidade das representações (Siegler & Booth, 2004), dado que estas se correlacionam e beneficiam a aprendizagem da aritmética (Booth & Siegler, 2008).

Ambas as tarefas de comparação numérica e de estimação da linha numérica são comummente utilizadas para investigar o desenvolvimento do processamento numérico. Todavia, neste estudo os resultados relacionados com estas tarefas parecem não convergir. Por um lado, a linha numérica surge como melhor preditor que a comparação de numerosidades para a aritmética. Por outro, houve diversas correlações encontradas entre a linha numérica e os efeitos de distância que parecem inconclusivas [ex. a correlação positiva (tempo de execução) e negativa (percentagem de acertos) entre a linha e o efeito de distância na notação simbólica]. Estes resultados levantam a possibilidade de uma diferença de processos subjacentes às duas tarefas. Relativamente a este ponto, têm surgido dúvidas quanto a estes mecanismos (e.g. Barth & Paladino, 2011; Sasanguie & Reynvoet, 2013) e, inclusive, se efetivamente os resultados das tarefas refletem as representações das magnitudes.

Em primeiro lugar, quanto à percentagem de acertos, um menor efeito de distância na notação não-simbólica parece estar relacionado com um menor efeito de distância na notação simbólica (embora não de forma significativa), ainda que seja a maior precisão nos estímulos simbólicos que leve a um melhor desempenho na aritmética; esta ideia parece refletir o mapeamento de representações já descrito, bem como a influência dos estímulos simbólicos para o desempenho na aritmética. Em segundo lugar, quanto à rapidez de execução, um menor efeito de distância para estímulos não-simbólicos influencia de forma direta a rapidez na aritmética. Em terceiro lugar, quanto aos acertos, a relação positiva entre a precisão na linha numérica e efeito de distância em ambas as notações, e a relação negativa entre os desvios na linha numérica e a aritmética, e entre o efeito de distância simbólico e a aritmética, pode espelhar a importância de uma melhor manipulação entre estímulos não-simbólicos (ou um melhor "sentido de número") para um mapeamento mais eficaz das representações simbólicas, e a consequente performance na aritmética. Por último, e para concluir, os resultados sugerem que uma maior rapidez na manipulação de estímulos não-simbólicos parece estar relacionada com uma maior precisão dos estímulos simbólicos (menor efeito de distância e menor os desvios na linha, e que, por sua vez, se repercute num melhor desempenho na realização de somas. Contudo, são necessários mais estudos para perceber a forma como as duas medidas se relacionam entre si, e com tarefas numéricas mais exigentes.

No conjunto, os resultados permitem tirar algumas conclusões. Por um lado, o sistema representacional aproximado parece influenciar o desempenho aquando a realização de somas. Por outro, a estimação na linha numérica revela ser o melhor preditor da aritmética, apesar da função executiva desempenhar um papel importante na rapidez de execução da tarefa de adição - uma vez que a aritmética mental requere processos executivos, mesmo em problemas de um dígito (DeStefano & LeFevre, 2004). Por último, há evidência para uma divergência entre a medida do efeito de distância e a estimação na linha numérica, questão que devia ser aprofundada até para se compreender qual a mais indicada no domínio das representações.

Relativamente ao papel das capacidades de domínio geral e específico para esta temática, foi clara a importância da linha numérica nos resultados da tarefa de adição nos três grupos. Pressupondo que a tarefa da linha numérica reflete as representações básicas, estes resultados parecem ir ao encontro de estudos com foco em crianças com discalculia, que enfatizam um défice num domínio específico dos sistemas representacionais numéricos (Landerl et al, 2004; Mazzocco, Feigenson & Halberda, 2011), ainda que se tenha verificado que a inibição também foi um preditor da aritmética, apenas para os tempos de resposta. Esperar-se-ia uma relação mais forte entre Função executiva e Aritmética, pois diversos estudos anteriores revelam resultados que enfatizam o papel da flexibilidade e inibição na matemática e nos seus precursores (ex. Bull & Scerif, 2001; Espy et al., 2004; St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006).

Em contrapartida, estes resultados devem ser analisados com alguma prudência visto que neste estudo o domínio geral não foi bem caraterizado neste estudo por duas razões principais: (i) a aplicação da tarefa de memória de dígitos possivelmente influenciou o desempenho dos participantes adultos, o que levou à não-inclusão da variável na análise de regressão; e (ii) não foi incluída uma medida de inteligência geral dos participantes como medida de controlo. São diversos os estudos apontam ainda para a importância das funções executivas e da inteligência – capacidade de pensar de forma lógica e sistemática – como facilitadores a aprendizagem da estrutura lógica da linha numérica mental (ex. Geary, Hoard, Nugent, & Byrd-Craven, 2005), não descurando o papel das representações básicas, pelo que o papel do domínio geral não deve ser aqui negligenciado. Deste modo, partindo da premissa que há uma ativação do sistema representacional aproximado aquando a utilização de material numérico simbólico (Dehane et al, 2003), seria interessante compreender qual o papel das capacidades cognitivas gerais para ambos os sistemas, aproximado e exato, para o mapeamento entre os dois, e assim, para a aprendizagem da matemática.

3. Conclusão

De caráter exploratório, a presente investigação residiu no estudo da importância das representações numéricas básicas e da função executiva para o processamento numérico envolvido na execução de operações aritméticas, especificamente na adição, em crianças e em adultos.

De uma maneira geral, os resultados evidenciaram a evolução das representações internas dos números ao longo do desenvolvimento, como nos mostra a diminuição do efeito de distância, bem como a redução de desvios na linha numérica, que se refletiu na linearidade das estimativas com a escolarização. Por outro lado, os resultados obtidos indicam que uma boa capacidade de estimação, derivada de representações numéricas mais precisas, influencia o desempenho de operações aritméticas. Não obstante, as diferentes relações entre os efeitos de distância e a linha numérica, e entre estas e a adição, levantam a questão se estas tarefas refletem realmente as representações numéricas ou apenas decisões e/ou mecanismos específicos das tarefas que atual sob elas (ver Sasanguie & Reynvoet, 2013). Mais estudos são essenciais para aprofundar esta questão. Devido à utilização de poucas medidas no estudo que permitam contrastar os domínios cognitivos específico e geral de forma mais robusta, a interpretação destes resultados deve ser realizada de forma prudente.

No futuro, seria vantajoso privilegiar um trabalho multidisciplinar nesta temática, ultrapassando a ténue barreira que existe entre áreas como a Neurociência e a Educação. A capacidade de estudar os circuitos cerebrais durante a aritmética possibilita a observação das alterações destes aquando a aquisição de diversas formas de aprendizagem, e pode também permitir a identificação de estratégias de ensino mais eficazes no ensino da matemática, em crianças com diferentes recursos de aprendizagem.

4. Estudo II

4.1. Introdução

Tal como no Estudo I, este estudo também foca a relação entre os domínios geral e específico na aprendizagem de diversas competências matemáticas, numa tentativa de perceber qual o papel que cada um desempenha em diferentes etapas curriculares. Assim, são também utilizadas algumas das tarefas do Estudo I, acrescentando-se outras para completar mais o estudo. Ainda que não incluam adultos que diferentes áreas científicas (o que também seria interessante estudar), este estudo pretende acompanhar o desenvolvimento de crianças do ensino pré-escolar de forma mais rigorosa, para que as conclusões retiradas sejam mais aliciantes.

Como já vimos na investigação anterior, atualmente tem havido um crescente interesse nas representações numéricas enquanto ponto de partida para o progresso e cumulação de capacidades matemáticas. No entanto, diferentes medidas e instrumentos têm sido utilizados para estudar a relação já estabelecida entre as nossas competências numéricas básicas e a aprendizagem da matemática. Ainda, a maioria destes estudos são de natureza transversal, negligenciando um estudo mais detalhado ao nível das diferenças individuais. O objetivo deste estudo reside numa compreensão mais completa e abrangente acerca da relação entre o “sentido do número” e a competência matemática, e a influência dos domínios cognitivo-afetivos nesta, em indivíduos em diferentes fases de desenvolvimento.

Muitos estudos já descritos ao longo da dissertação utilizam uma ou duas tarefas (ex. tarefa da linha numérica, comparação numérica) para predizer resultados de aritmética ou de matemática (ex. Holloway & Ansari, 2009; Landerl et al., 2004; De Smedt et al., 2009). Por um lado, a aritmética inclui cálculos simples, com diversas operações (adição, subtração, multiplicação e divisão), que se efetuam com um conhecimento básico de regras como a comutatividade e associatividade, que não se adquirem ao mesmo tempo (ver Canobi, 2005). Por outro, a aritmética é a área mais básica da matemática e é com a sua aprendizagem que conseguimos perceber os efeitos quantitativos das operações numéricas e como os números interagem (Nys et al., 2013). A “matemática” descrita por diversos autores já se encontra num patamar mais superior em relação à aritmética, ainda que seja avaliada de forma mais global. Assim, existe uma carência de estudos com foco nas capacidades matemáticas mais complexas (De Smedt et al., 2010), pelo que a matemática enquanto objecto de estudo deve ser decomposto nas suas áreas mais moleculares (Fuchs et al., 2010). Tal como as capacidades básicas podem ser diferenciadas, seria interessante avaliar o nível de competências no domínio da matemática, decompondo a disciplina em quatro ramos principais – ex. Aritmética, Geometria, Álgebra e Trigonometria-, e daí perceber melhor a relação entre o "sentido de número" e a aprendizagem da matemática, não negligenciando outros fatores.

De um ponto de vista mais inovador, Nys e colaboradores (2013) demonstraram que a aquisição do conhecimento numérico exato ao longo da educação contribui para uma melhor precisão do sistema numérico aproximado, independentemente do tipo de metodologia utilizada no ensino. Considerando uma capacidade inata flexível, ou seja, que influencia e é influenciada pelo ensino dos números, é importante considerar mais fatores que se encontram intimamente ligados a estas competências.

Ainda que autores tenham "subestimado" o papel das capacidades cognitivas de domínio geral no desenvolvimento das representações numéricas (ex. Halberda et al., 2008), é comummente aceite a relação entre capacidades como a inteligência no sucesso académico. Para além deste aspeto, a educação resulta em alterações cognitivas e afetivas (Ma, 2006), o que nos coloca a questão da importância de fatores emocionais para esta temática das representações, do seu desenvolvimento e das repercussões no ensino da matemática.

Estudos anteriores mostram também que a autoeficácia[1] é um bom indicador preditivo do desempenho em Matemática (Pajares & Kranzler, 1995). Os alunos com uma autoperceção mais positiva apresentam pontuações mais elevadas na escala de atitudes em relação a esta disciplina, e também melhores notas nos testes (Shiomi, 1992). Não obstante, outros estudos com foco na ansiedade em relação à matemática, descrevem esta condição como um resultado de um défice de baixo nível no processamento numérico que compromete o desenvolvimento das competências mais elevadas (Maloney, Ansari & Fugelsang, 2011). Outras teorias defendem que os indivíduos com elevada ansiedade são perturbados com ruminações que comprometem a disponibilidade de recursos da memória de trabalho, o que por sua vez leva a um pior desempenho em tarefas numéricas e matemáticas (ex. Ashcraft & Kirk, 2001). Sabe-se que estes indivíduos demonstram um pior desempenho num manancial de tarefas, desde as mais simples às mais complexas (Maloney, Risko, Ansari, & Fugelsang, 2010), ainda que não haja consenso quanto ao desenvolvimento e evolução desta problemática. Por fim, entre os fatores cognitivos e afetivos, as atitudes em relação à matemática parece ser o fator mais

[5] A autoeficácia pode definir-se como as crenças que uma pessoa tem acerca da capacidade de desempenhar determinadas tarefas e alcançar objetivos específicos (Bandura, 1986)

preponderante na opção futura de cursos mais avançados ligados à matemática, sobrepondo-se inclusivamente à “ansiedade na matemática” (Ma, 2006).

Este estudo surge na tentativa de colmatar possíveis lacunas de estudos já realizados ao dar especial ênfase às diferenças individuais devido ao seu carácter longitudinal. É de elevada importância considerar variáveis do domínio cognitivo (e.g. inteligência, velocidade de processamento, organização percetiva, memória de trabalho e função executiva) de forma a controlar a sua influência na relação entre o “sentido do número” e a aquisição matemática. Por outro lado, o estudo inclui também um domínio afetivo que incide maioritariamente nas atitudes dos alunos em relação à disciplina. Para concluir, este estudo inclui instrumentos e tarefas que avaliam: as capacidades numéricas básicas, as competências matemáticas mais complexas, o domínio cognitivo e o domínio afetivo.

O estudo analisa questões como, por exemplo: (i) qual a influência das atitudes perante a matemática na relação “sentido do número” – Matemática em crianças; (ii) que capacidades são mais requeridas em diferentes ramos da matemática; e (iii) quais os fatores que mais influenciam o desempenho na matemática.

4.2. Método

4.2.1. Participantes

A amostra constituir-se-ia por crianças saudáveis, isentas de medicação que afete as funções cognitivas, e com um quociente de inteligência entre 70 e 130 (i.e. que estejam, respetivamente, abaixo e acima da média até dois desvios-padrão). No início da experiência as crianças teriam cerca de 5 anos de idade (pré-primária) e no fim já teriam entre 9 e 10 anos.

4.2.2. Tarefas e Instrumentos

Aptidões Numéricas

Sentido do Número. Marcelino, Sousa e Lopes (2012) estão a realizar um estudo com o objetivo de adaptar a Bateria do Sentido do Número (BSN; *Number Sense Brief Screener*; Jordan, Glutting & Ramineni, 2008) na população portuguesa de forma a identificar dificuldades mais precoces na matemática em crianças entre os 4 e os 8 anos. Esta bateria inclui os seguintes subtestes: (i) *Contagem* – com foco no conhecimento da sequência de números, capacidade de enumerar conjuntos, identificar e compreender os princípios de contagem; (ii) *Conhecimento numérico* - avalia a capacidade de comparar quantidades, tais como identificar o número maior ou menor; (iii) *Cálculo não-verbal* – incide na capacidade de resolver transformações simples com objetos sem estímulos verbais; (iv) *Problemas verbais* – avaliam a capacidade de resolver problemas verbais simples onde são referidos objetos (e.g. "O Diogo tem duas bolas. A mãe dá-lhe mais uma bola. Quantas bolas tem o Diogo?"); e (v) *Combinações de números* – cálculos apresentados verbalmente sem objetos referentes (e.g. "Quanto é dois e um?").

Linha Numérica. A tarefa da Linha Numérica teria os mesmos materiais e procedimento que no Estudo I.

Aprendizagem da Matemática. Para avaliar o nível de competências no domínio da matemática seria útil decompor a disciplina em quatro ramos principais - Aritmética, Geometria, Álgebra e Trigonometria -, e reunir um conjunto de exercícios já realizados pelo Instituto de Avaliação Educativa para que haja um igual número de exercícios para cada ramo. No caso da desta amostra, estes exercícios poder-se-iam decompor em contagens e operações básicas, sistema numérico decimal, problemas verbais e exercícios com figuras geométricas (Marcelino et al., 2012) – ferramentas para a resolução de problemas mais complexos dos ramos principais supracitados.

Domínio Cognitivo

Inteligência. O teste das Matrizes Progressivas Coloridas (Raven, Court, & Raven, 1990) destina-se à avaliação do desenvolvimento intelectual de crianças de 5 a 11 anos de idade.

Organização Percetiva. Para esta avaliação seriam utilizados os subtestes da WISC-III (Wechsler, 2002a) Completamento de Objetos e Cubos, que medem um reconhecimento e identificação visuais, e integração visuomotora e formação de conceitos não-verbais, respetivamente. O primeiro consiste num conjunto de cartões com um desenho (ex. guarda-chuva), e as crianças têm que identificar, o mais rápido possível, que parte do objeto está em falta. No subteste dos cubos existem 9 cubos, cada um com duas faces vermelhas, duas faces brancas e duas faces metade vermelha metade branca. Apresentam-se à criança desenhos de duas cores e pede-se que reproduza o que vê, utilizando os cubos. Consoante o desenho são-lhes dados 2, 4 ou 9 cubos, e adverte-se para uma rapidez de realização da tarefa.

Velocidade de Processamento. Para esta avaliação seriam utilizados dois subtestes das escalas da WISC-III (Wechsler, 2002a) Código e Pesquisa de símbolos, que medem a velocidade de execução, velocidade psicomotora, e memória de trabalho visuo-espacial. No Código pede-se à criança que copie símbolos que estão associados a figuras geométricas (6-7 anos) ou a números (8-16 anos). Na Pesquisa de símbolos, para cada um dos itens o sujeito deve decidir, assinalando "SIM" ou "NÃO", se um símbolo-alvo se encontra na série de três símbolos (6-7 anos), ou se um dos dois símbolos-alvo se encontram na série de cinco símbolos (8-16 anos). Ambos os subtestes requerem uma velocidade de execução da tarefa.

Memória de Trabalho. Seria utilizado novamente o subteste de Memória de Dígitos.

Função Executiva. Esta tarefa teria os mesmos materiais e plano experimental que no Estudo I - Tarefa Espacial de Stroop (*Spacial Stroop Task*) que está inserida na Bateria Automatizada de Testes Neuropsicológicos de Cambridge (*Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery*; CANTAB, Sahakian et al. 1988).

Domínio Cognitivo-Afetivo

Atitudes em relação à matemática. Palacios, Arias e Arias (2014) construíram e validaram uma escala de avaliação das atitudes em relação à matemática através de outros instrumentos já criados, que divergiam apenas no número de fatores ou na sua nomenclatura. A versão final da escala contém 32 itens e quatro fatores: (i) *Perceção de incompetência*: inclui itens relacionados com a perceção de incapacidade, confusão, dificuldades e expectativas de insucesso; (ii) *Gosto pela matemática*: os itens referem-se a emoções positivas decorrentes do estudo da matemática, perceção de facilidade e conforto aquando a resolução de problemas de matemática; (iii) *Perceção de utilidade*: os itens fazem referência à utilidade e importância da matemática; e (iv) *Autoconceito matemático*: relativos ao autoconceito de eficácia no estudo da disciplina. Para além destes fatores, um outro fator poderia completar mais esta escala, devido ao impacto que tem na aprendizagem realizada pelas crianças – *Auto-*

percepção do aluno em relação ao que o professor pensa dele, i.e., forma como o aluno pensa que o professor vê as suas competências.

É realmente importante adaptar e validar esta escala à população estudantil portuguesa quer para este estudo quer para estudos futuros. Incluir-se-iam alunos em diferentes etapas de ensino, por exemplo, "Primeiro Ciclo", "Segundo Ciclo", "Terceiro Ciclo" e "Ensino Secundário". Esta escala seria composta por um conjunto de itens de valência positiva e negativa para cada fator, adaptado de outras escalas ou ainda eventualmente criados novos itens, de forma a possuírem bons índices de precisão e consistência interna.

4.2.3. Procedimento/Planeamento

Esta experiência teria três momentos de intervenção: no fim da pré-primária, no fim do 2º ano e no fim do 4º ano. No primeiro momento seriam aplicadas a Bateria do sentido do número e as Matrizes Coloridas de Raven. No segundo e terceiro momentos seriam aplicados os subtestes da WISC-III (Wechler, 2002a), as Matrizes *Standard*, a tarefa da linha numérica, a escala de atitudes e o teste de conhecimentos.

Referências

Ansari, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews Neuroscience, 9*, 278-291.

Ansari, D., & Dhital, B. (2006). Age-related changes in the activation of the intraparietal sulcus during nonsymbolic magnitude processing: An event-related functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*, 1820-1828.

Ansari, D., Donlan, C., & Karmiloff-Smith, A. (2007). Typical and atypical development of visual estimation abilities. *Cortex, 43,* 758-768.

Ansari, D., Donlan, C., Thomas, M. S. C., Ewing, S., Peen, T., & Karmiloff-Smith, A. (2003). What makes counting count? Verbal and visuo-spatial contributions to typical and atypical number development. *Journal of Experimental Child Psychology, 85*, 50-62.

Ansari, D., Garcia, N., Lucas, E., Hamon, K., & Dhital, B. (2005). Neural correlates of symbolic number processing in children and adults. *Neuroreport, 16,* 1769-1773.

Ashcraft, M. H. (1992). Cognitive arithmetic: A review of data and theory. *Cognition, 44,* 75 – 106.

Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of Experimental Psychology*, *130*(2), 224−237.

Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Baroody, A. J. (1992). The development of kindergartners' mental-addition strategies. *Learning Individual Differences, 4,* 215 – 235.

Barth, H., & Paladino, A. (2011). The development of numerical estimation: evidence against a representational shift. *Developmental Science, 14* (1), 125-135.

Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology, 41*, 189-201.

Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child Development, 79,* 1016–1031.

Buckley, P. B., & Gillman, C. B. (1974). Comparisons of digits and dot patterns. Journal *of Experimental Psychology, 103* (6), 1131–1136.

Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. Developmental Neuropsychology, 33 (3), 205-228.

Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology, 19* (3), 273−293.

Butterworth, B. (1999). *The Mathematical Brain*. London: Macmillan.

Butterworth, B. (2005). Developmental dyscalculia. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition* (pp. 455-467). New York: Psychology Press.

Canobi, K. H. (2005). Children’s profiles of addition and subtraction understanding. *Journal of Experimental Child Psychology, 92,* 220 – 246.

Cantlon, J. F. (2012). Math, monkeys, and the developing brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 10725-10732. doi: 10.1073/pnas.1201893109.

Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J., Pelphrey, K. A., 2006. Functional imaging of numerical processing in adults and 4-y-old children. *PLoS Biology, 4,* e125.

Cho, S., Ryali, S., Geary, D. C., Menon, V. (2011). How does a child solve 7+8? Decoding brain activity patterns associated with counting and retrieval strategies. *Developmental Science, 14* (5), 989-1001.

Cohen-Kadosh, R., Brodsky, W., Levin, M., & Henik, A. (2008). Mental representation: What can pitch tell us about the distance effect? *Cortex*, *44*, 470–477.

Collette, F. (2002). Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience and Biobehavioural Reviews*, *26*, 105−125.

Cordes, S., Gelman, R., Gallistel, C. R., & Whalen, J. (2001). Variability signatures distinguish verbal from nonverbal counting for both large and small numbers. *Psychonomic Bulletin and Review, 8*, 698–707.

Cowan, R. & Powell, D. (2013). The contributions of domain-general and numerical factors to third-grade arithmetic skills and mathematical learning disability. *Journal of Educational Psychology, 106*, 214-229.

Cutting, M., Koth, L., & Denckla, W. C. How children with neurofibromatosis type 1 differ from "typical" learning disabled clinic attenders: Nonverbal learning disabilities revised. *Developmental Neuropsychology, 17* (1), 29-47.

De Smedt, B., Janseen, R., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B., & Ghesquière, P. (2009a). Working memory and individual differences in mathematics achievement: a longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology, 103,* 186 – 201.

De Smedt, B., Verschaffel, L., & Ghesquière, P. (2009b). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*, 469 – 479.

De Smedt, B., Ansari, D., Graber, R. H., Hannula, M. M., Schneider, M., & Verschaffel, L. (2010). Cognitive neuroscience meets mathematics education. *Educational Research Review, 5*, 97 – 105.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition, 44*, 1-42.

Dehaene, S. (1997). *The number sense: How the mind creates mathematics*. New York: Oxford University Press.

Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neurosciences, 21* (8), 355 – 361.

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology, 20*, 487-506.

DeStefano, D., & LeFevre, J. (2004). The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology, 16,* 353 – 386.

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135-168.

Diester, I., & Nieder, A. (2007). Semantic associations between signs and numerical categories in the prefrontal cortex. *PLoS Biology, 5*, 2684 – 2695.

Espy, K. A., McDiarmid, M. M.,Cwik, M. F.,Stalets, M. M., Hamby, A., & Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematics skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology, 26*, 465–486.

Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. S. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences, 8*, 307–314.

Flombaum, J. I., Junge, J. A., & Hauser, M. D. (2005). Rhesus monkeys (Macaca mulatta) spontaneously compute addition operations over large numbers. *Cognition, 97*, 315 – 325.

Fuchs, L. S., Geary, D. C, Compton, D. L., Fuchs, D., Hamlett, C. L., Seethaler, P. M., Bryant, J. D., Schatschneider, C. (2010). Do different types of school mathematics development depend on different constellations of numerical versus general cognitive abilities. *Developmental Psychology, 46*, 1731-1746.

Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition, 44*, 43-74.

Geary, D. C. (1993). Mathematical disabilities: Cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin, 114* (2), 345−362.

Geary, D. C. (2011). Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: a 5-year longitudinal study. *Developmental Psychology, 47*, 1539 – 1552.

Geary, D. C., Bow-Thomas, C., & Yao, Y. (1992). Counting knowledge and skill in cognitive addition: A comparison of normal and mathematically disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology, 54*, 372 – 391.

Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Byrd-Craven J. (2005). Development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology, 33* (3), 277-299.

Gordon, P. (2004). Numerical cognition without words: Evidence from Amazonia.

Science, *306*, 496–499.

Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "Number Sense": The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology, 44* (5), 1457-1465.

Halberda, J., Mazzocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature, 455*, 665–668.

Hecht, S. A., Torgesen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (2001). The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical. *Journal of Experimental Child Psychology*, *79* (2), 192−227.

Holloway, I. D., & Ansari, D. (2008). Domain-specific and domain-general changes in children’s development of number comparison. *Developmental Science*, 11, 644 – 649.

Holloway, I. D., & Ansari, D. (2009). Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children’s mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*, 17–29.

Hubbard, E. M., Diester, I., Cantlon, J. F., Ansari, D., van Opstal, F., & Troiani, V. (2008). The evolution of numerical cognition: From number neurons to linguistic quantifiers. *The Journal of Neuroscience, 28* (46), 11819–11824.

Isaacs, E. B., Edmonds, C. J., Lucas, A., & Gadian, D.G. (2001). Calculation difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate. *Brain, 124*, 1701–1707.

Izard, V., Dehaene-Lambertz, G., & Dehaene, S. (2008). Distinct cerebral pathways for object identity and number in 3-month-old infants. *PLOS Biology, 6*(2), 275-285.

Jordan, N. C., Glutting, J., & Ramineni, C. (2008). A number sense assessment tool for identifying children at risk for mathematical difficulties. In Dowker A. (Ed.), *Mathematical difficulties: Psychology and intervention*. Academic Press (pp. 45–58). San Diego: CA.

Kaufmann, L., Vogel, S., Starke, M., Kremser, C., Schocke, M., & Wood, G. (2009). Developmental dyscalculia: compensatory mechanisms in left intraparietal regions in response to nonsymbolic magnitudes. *Behavioral and Brain Functions, 5*: 35.

Kolkman, M. E., Hoijtink, H., Kroesbergen, E. H., & Leseman, P. P. M. (2013). The role of executive functions in numerical magnitude skills. *Learning and Individual Differences, 24,* 145-151.

Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Early development of quantity to number-word linkage as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties: Findings from a four-year longitudinal study. *Learning and Instruction, 19,* 513–526.

Kucian, K., Loenneker, T., Dietrich, T., Dosch, M., Martin, E., & Von Aster, M. (2006). Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children: A functional MRI study. *Behavioral and Brain Functions, 2,* 31.

Landerl, K. (2013). Development of numerical processing in children with typical and dyscalculic arithmetic skills – A longitudinal study. *Frontiers in Psychology, 4*, 459.

Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9 year-old students. *Child Development, 78,* 1723-1743.

Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., & Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: two learning disorders with different cognitive profiles, *103* (3), 309-324.

Lemaire, P. (2010). Executive functions and strategic aspects of arithmetic performance: The case of adult’s and children’s arithmetics, *Psychologica Belgica, 50* (3&4), 335-352.

Lipton, J.S., & Spelke, E.S. (2005). Preschool children’s mapping of number words to non-symbolic numerosities. *Child Development, 76*, 978–988.

Ma, X. (2006). Cognitive and affective changes as determinants for taking advanced mathematics courses in high school. *American Journal of Education, 13*, 123 – 149.

Maloney, E., Ansari, D., & Fugelsang, J. (2011). The effect of mathematics anxiety on the processing of numerical magnitude. *Quarterly journal of experimental psychology, 64*, 10 – 16.

Maloney, E. A., Risko, E. F., Preston, F., Ansari, D., & Fugelsang, J. (2010). Challenging the reliability and validity of cognitive measures: The case of the numerical distance effect. *Acta Psychologica*, *134* (2), 154-161.

Marcelino, L., de Sousa, O., Cruz, V. & Lopes, A. (2012). Sentido de número e desempenho em matemática: Diagnóstico e acompanhamento em alunos do 1º ciclo. Atas do II Seminário Internacional “Contributos da Psicologia em Contextos Educativos”, 1427-1437. Braga: Universidade do Minho.

Mazzocco, M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child Development, 82*, 1224 – 1237.

Mazzocco, M. M. M., & Kover, S. T. (2007). A longitudinal assessment of executive function skills and their association with math performance. *Child Neuropsychology*, *13*, 18–45.

Meck, W. H., & Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 9*, 320 – 334.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41* (1), 49 –100.

Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgments of numerical inequality. *Nature, 215*, 1519–1520.

Mussolin, C., De Volder, A., Grandin, C., Schlogel, X., Nassogne, M.C., & Noel, M. P. (2010). Neural correlates of symbolic number comparison in developmental dyscalculia. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22* (5), 860–874.

Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). The Priming method: Imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes. *Cerebralcortex, 11*, 966 – 974.

Nieder, A., & Miller, E. K. (2004). A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 101*, 7457-7462.

Nieder, A. & Dehaene, S. (2009). Representation of Number in the Brain. *Annual Review of Neuroscience, 32,* 185 – 208.

Nieder, A., Freedman, D. J., & Miller, E. K. (2002). Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science, 297*, 1708–1711.

Noël, M. P., Rousselle, L., & Mussolin, C. (2005). Magnitude representation in children: Its development and dysfunction. In J. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition*. New York: Psychology Press.

Nys, J., Ventura, P., Fernandes, T., Querido, L., Leybaert, J., & Content, A. (2013). Does math education modify the approximate number system? A comparison of schooled and unschooled adults. *Trends in Neuroscience and Education, 2*, 13 – 22.

Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R. & Bullmore, E. (2005). N-Back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping. 25*, 46 – 59.

Pajares, F., & Kranzler, J. (1995). Self-efficacy beliefs and general mental ability in mathematical problem-solving. *Contemporary Educational Psychology, 20*, 426-443.

Palacios, A., Arias, V., & Arias, B. (2014). Attitudes towards mathematics: construction and validation of a measurement instrument. *Revista de Psicodidática, 19* (1), 67-91.

Passolunghi, M. C., & Siegler, L. S. (2001). Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology, 80* (1), 44-57.

Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, *88*(4), 348-367.

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science, 306,* 499-503.

Price, G. R., Holloway, I., Rasanen, P., Vesterinen, M., & Ansari, D. (2007). Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Current Biology, 17*, 50-57.

Price, G., Palmer, D., Battista, C., & Ansari, D. (2012). Nonsymbolic numerical magnitude comparison: reliability and validity of different task variants and outcome measures, and their relationship to arithmetic achievement in adults. *Acta Psychologica 140* (1), 50-57.

Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1990). *Coloured progressive matrices*. Oxford: Oxford Psychologists Press.

Restle F. (1970). Speed of adding and comparing numbers. *Journal of Experimental Psychology*, *83*, 274 – 278.

Richardson, J. T. E. (2007). Measures of short-term memory: A historical review. *Cortex, 43* (5), 635−650.

Rivera, S. M., Reiss, A. L., Eckert, M. A., & Menon, V. (2005) Developmental changes in mental arithmetic: Evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. *Cerebral Cortex*, *15*, 1779 – 1790.

Roggeman, C., Verguts, T., Fias, W. (2007). Priming reveals differential cogind of symbolic and non-symbolic quantities. *Cognition, 105*, 380-394.

Rosenberg-Lee M., Barth, M., & Menon, V. (2011). What difference does a year of schooling make?: Maturation of brain response and connectivity between 2nd and 3rd grades during arithmetic problem solving. *NeuroImage*, 57 (3), 796–808.

Rowbotham, I., Pit-tem Cate, I. M., Sonuga-Barke, E. J. S. & Huijbregts, S. C. J. (2009). Cognitive control in adolescents with neurofibromatosis type 1. *Neuropsychology, 23* (1), 50-60.

Sahakian, B. J., Morris, R. G., Evenden, J. L., Heald, A., Levy, R., Philpot, M., & Robbins, T. W. (1988). A comparative study of visuospatial memory and learning in Alzheimer-type dementia and Parkinson's disease. *Brain, 111*, 695 – 718.

Sasanguie, D., & Reynvoet, B. (2013). Number comparison and number Line. *Psychologica Belgica, 53* (4), 17-35.

Sekuler, R., & Mierkiewicz, D. (1977). Children’s judgments of numerical inequalities. *Child Development, 48,* 630 – 633.

Shallice, T., & Burgess, P. (1996). The domain of supervisory processes and temporal organization of behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 351*(1346), 1405–1411.

Shiomi, K. (1992). Association of attitude toward Mathematics with self-efficacy, causal attribution, and personality traits. *Perceptual and Motor Skills, 75,* 563 -567.

Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development, 75,* 428-444.

Siegler, R. S., & Opfer, J. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science, 14*, 237-243.

Slusser, E. B., Santiago, R. T., & Barth, H. C. (2013). Developmental change in numerical estimation, *Journal of Experimental Psychology, 146*, 193–208.

St Clair-Thompson H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 59,* 745–759.

Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science, 210*, 1033–1035.

Szucs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2013). Developmental dyscalculia is related to visuospatial memory and inhibition impairment. *Cortex, 49.* 2674-2688.

Ungerleider, L. G., Gaffan D., & Pelak, V. S. (1989). Projections from inferior temporal cortex to prefrontal cortex via the uncinate fascicle in rhesus monkeys. *Experimental Brain Research, 76*, 473-484.

Van der Sluis, S., de Jong, P. F.,& Van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence, 35,* 427 – 453.

Van Opstal, F., Gevers, W., De Moor, W., & Verguts, T. (2008). Dissecting the symbolic distance effect: priming and comparison distance effects in numerical and non-numerical orders. *Psychonomic Bulletin & Review, 15*, 419-425.

Verguts, T., & Fias, W. (2004). Representation of number in animals and humans: A neural model. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*, 1493-1504.

Von Aster, M., & Shalev, R. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology, 49*, 868 – 873.

Wechsler, D. (2002a). *Escala de Inteligência Wechsler para Crianças*: Manual (3ª ed.). Lisboa: CEGOG-TEA.

Wechsler, D. (2002b). *Escala de Inteligência Wechsler para Crianças*: Manual (3ª ed.). Lisboa: CEGOG-TEA.

Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition*, 36, 155-193.

Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature, 358*, 749–750.

Xu, F., & Arriaga, R. (2007). Number discrimination in 10-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology, 25* (1), 103 – 108.

Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74*(1), 1-11.

Apêndice A. Características amostrais por tarefa

Tarefas		Grupo		
		C1	C4	A
Comparação de Magnitudes	Idade	6.5 (0.5)	9.3 (0.5)	21.7 (9.2)
	M/F	17/20	16/20	5/49
	Destros	35	33	49
Adição	Idade	6.5 (0.5)	9.3 (0.5)	21.4 (9.6)
	M/F	22/26	15/20	2*34
	Destros	35[a]	32	35
Função Executiva	Idade	6.4 (0.5)	9.3 (0.5)	21.4 (9.6)
	M/F	21/21	26/22	1*35
	Destros	39	36	35
Linha Numérica	Idade	6.4 (0.5)	9.2 (0.5)	22.3 (0.5)
	M/F	15 10	15/16	5*57
	Destros	24	28	58
Memória	Idade	6.5 (0.5)	9.3 (0.5)	21.7(9.6)
	M/F	18/17	16/20	34/3
	Destros	33	33	35

Nota. Os valores são arredondados às unidades. Idade = média (desvio-padrão). a = 11 dados omissos. M = sexo masculino. F = sexo feminino. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos

Apêndice B. Médias (e desvios-padrão) de tempos e precisão de respostas por grupo em todas as tarefas computorizadas

Quadro B1. Média (e desvio-padrão) dos tempos de resposta (ms) na tarefa de Comparação de Magnitudes

	Notação					
	Não-simbólica			Simbólica		
Distância	C1	C4	A	C1	C4	A
1	2029 (109)	1172 (371)	803 (227)	1326 (336)	923 (192)	621 (84)
2	1414 (376)	923 (205)	655 (135)	1474 (369)	901 (180)	601 (77)
3	1222 (295)	820 (161)	589 (124)	1327 (291)	838 (156)	546 (78)
4	1136 (254)	800 (164)	546 (103)	1306 (237)	823 (154)	540 (77)
5	1024 (249)	743 (133)	519 (101)	1252 (249)	822 (159)	513 (65)
6	978 (206)	707 (136)	507 (103)	1205 (225)	783 (132)	501 (66)

Nota. Os valores são arredondados às unidades. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos

Quadro B2. Média (e desvio-padrão) dos tempos de resposta (ms) na tarefa de Comparação de Magnitudes

	Notação					
	Não-simbólica			Simbólica		
Distância	C1	C4	A	C1	C4	A
1	88 (10)	90 (9)	94 (9)	89 (11)	90 (9)	94 (6)
2	90 (12)	94 (7)	96 (5)	96 (9)	97 (6)	100 (2)
3	96 (6)	97 (5)	99 (3)	95 (9)	98 (6)	99 (3)
4	95 (7)	96 (7)	99 (3)	97 (7)	99 (3)	100 (2)
5	95 (8)	98 (4)	99 (4)	97 (10)	100 (2)	100 (2)
6	98 (3)	100 (1)	100 (2)	98 (5)	100 (2)	100 (0)*

Nota. Os valores são arredondados às unidades. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos

Quadro B3. Média (e desvio-padrão) dos tempos e precisão de resposta (ms) na tarefa de Comparação de Magnitudes

	Tempo de Reacção (ms)			Precisão (%)		
Categoria	C1	C4	A	C1	C4	A
Grande	10717 (3569)	3134 (1261)	1557 (518)	85 (16)	95 (5)	92 (12)
Pequeno	5327 (2516)	1660 (638)	918 (208)	96 (6)	99 (3)	99 (2)
Empate	5875 (2366)	1504 (590)	875 (173)	92 (9)	99 (3)	100 (2)
Identidade	2292 (707)	1318 (498)	743 (149)	99 (4)	99 (4)	99 (3)

Nota. Os valores são arredondados às unidades. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos

Quadro B4. Média (e desvio-padrão) dos tempos e precisão de resposta (ms) na tarefa de Comparação de Magnitudes

	Tempo de Reacção (ms)			Precisão (%)		
Categoria	C1	C4	A	C1	C4	A
Parte1c	738 (145)	546 (99)	409 (61)	95 (9)	97 (3)	98 (3)
Parte2i	969 (194)	666 (148)	509 (98)	93 (8)	94 (11)	98 (3)
Parte3c	1331 (324)	990 (261)	671 (88)	81 (16)	91 (9)	96 (4.0)
Parte3i	1388 (313)	992 (229)	744 (128)	81 (17)	92 (11)	96 (4)
Inibição	1178 (36)	828 (28)	626 (17)	87 (0)	93 (0)	97 (0)
Flexibilidade	1388 (313)	992 (229)	744 (128)	81 (17)	92 (11)	96 (4)

Nota. Os valores são arredondados às unidades. C1 e C4 = crianças do 1º e 4º ano de escolaridade, respetivamente. A = Adultos. c = Compatível. i = Incompatível

Apêndice C. Resultados das ANOVAs dos tempos e precisão de resposta para cada tarefa

	Tempos de reacção (ms)					Precisão (%)				
	n	*m*	F	*p-value*	η²	*n*	*m*	F	*p-value*	η²
Comparação										
Distância (D)	2	196	149.674	0	0.547	3	384	81	0	0.396
Grupo (G)	2	124	198.288	0	0.762	2	124	15.96	0	0.205
Notação (N)				ns		1	124	8.493	0.004	0.0064
D x G	3	196	14.999	0	0.195	6	384	2.264	0.035	0.035
D x N	1	183	57.926	0	0.318	3	407	5.45	0.001	0.042
G x N				ns					ns	
D x G x N	3	183	13.974	0	0.184				ns	
Efeito Distância										
Grupo	2	124	6.628	0.002	0.097	2	124	6.524	0.002	0.095
Notação	1	124	135.003	0	0.521	1	124	5.615	0.019	0.043
GxN	2	124	11.927	0	0.161				ns	
Adição										
Categoria (Cat)	2	239	215.392	0	0.65	2	211	37.334	0	0.243
Grupo (G)	2	116	171.966	0	0.748	2	116	18.073	0	0.238
Cat x G	4	239	96.679	0	0.625	4	348	5.584	0	0.088
Função Executiva										
Grupo (G)	2	113	98.047	0	0.634	2	113	21.645	0	0.232
Inibição (I)				ns					ns	
Flexbilidade (F)	1	113	689.431	0	0.861	1	113	34.227	0	0.232
G x I				ns					ns	
G x F	2	113	26.496	0	0.319	2	113	9.725	0	0.147
I x F	1	113	243.007	0	0.683	1	113	25.094	0	0.182
G x F x I	2	113	11.250	0	0.118	2	113	25.094	0	0.113

Nota. ns = não significativo

Anexo I. Instruções gerais utilizadas para cada tarefa experimental

Comparação Numérica Simbólica (ou Não-simbólica)

Este é um teste comparação de magnitudes apresentadas sob a forma de números árabes/ conjunto de pontos.

Seguir-se-ão uma série de imagens em que 2 números/ conjunto de pontos aparecem lado a lado, centrados no ecrã.

A sua tarefa é identificar o mais rápido e correctamente possível qual o número maior (ou qual o conjunto em que existem mais pontos).

Se o número /conjunto de pontos maior estiver do lado esquerdo, prima a tecla "S", se estiver do lado direito, prima a tecla "L".

Adição

Este é um teste de adição simples de algarismos.

Seguir-se-á uma série de somas de algarismos, do tipo "a + b =?" espaçadas por breves pausas.

A sua tarefa é calcular mentalmente estas somas o mais rápido e correctamente possível.

Procedimento:

1. Uma soma, por ex. 4 + 9 = ? é apresentada no ecrã do computador;
2. Calcule mentalmente a resposta e assim que a souber, carregue o mais rapidamente possível na tecla "ENTER";
3. Aparece então outra janela - escreva o número correspondente ao resultado da soma;
4. Carregue seguidamente em ENTER para aparecer a nova soma.

Função Executiva

Este é um teste que pretende avaliar aspectos da função executiva dos participantes, mais concretamente, a capacidade de reconhecer regras e escolher e adaptar as respostas de acordo com esta.

Está dividido em três blocos. No primeiro bloco terá de obedecer a uma regra, no segundo bloco a uma segunda regra, diferente da primeira, e no terceiro bloco terá que atender a ambas as regras.

(1º Bloco)

Neste bloco, ser-lhe-ão apresentadas consecutivamente, e separadas por um ponto de fixação, uma série de setas verdes centradas no ecrã e orientadas horizontalmente.

A sua tarefa é responder, o mais rápido e acertadamente que conseguir, à orientação da seta.

Se esta estiver a apontar para a esquerda, carregue com a mão esquerda premindo a tecla “S”. Se estiver virada para a direita, carregue com a mão direita premindo a tecla “L”.

(2º Bloco)

Este bloco é igual ao anterior mas as setas são vermelhas.

A sua tarefa é exactamente igual à anterior mas a regra inverte-se.

Se a seta estiver a apontar para a esquerda, carrege com a mão direita na tecla “L”. Se estiver a apontar para a direita, carregue com a mão esquerda na tecla “S”.

(3º Bloco)

Neste bloco são apresentadas setas verdes e vermelhas.

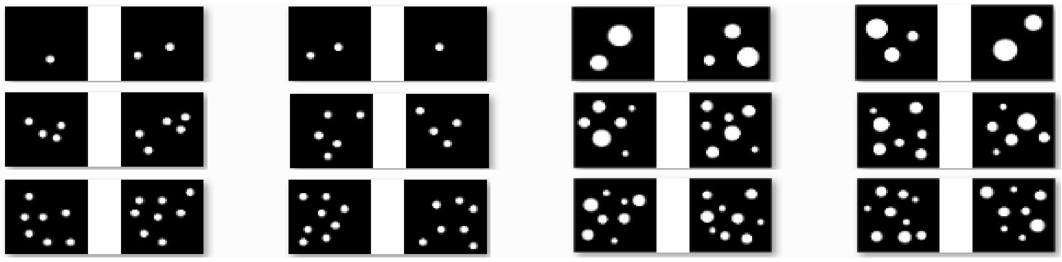
A sua tarefa é responder de acordo com as regras usadas nos blocos anteriores.

Se a seta verde estiver a apontar para a esquerda, responda com a mão esquerda premindo a tecla “s”. Se a seta verde estiver a apontar para a direita, responda com a mão direita premindo a tecla “l”.

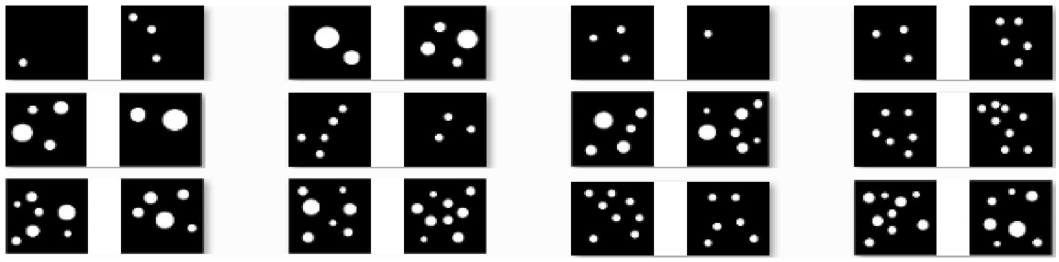
Se a seta vermelha estiver a apontar para a esquerda, responda com a mão direita premindo a tecla “l”. Se a seta vermelha estiver a apontar para a direita, responda com a mão esquerda premindo a tecla “s”.

Anexo II: Conjunto de estímulos utilizados na tarefa de comparação não-simbólica

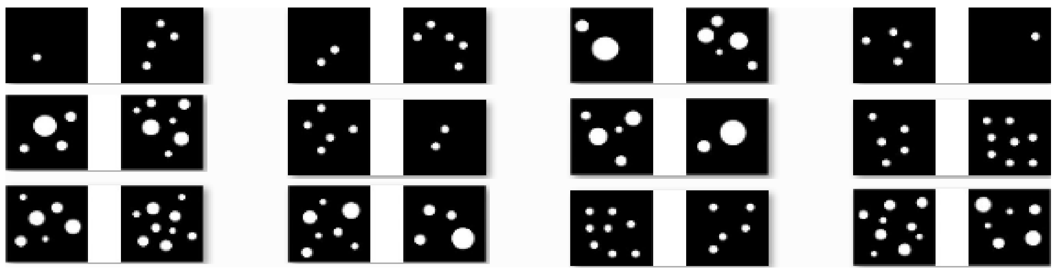
D1



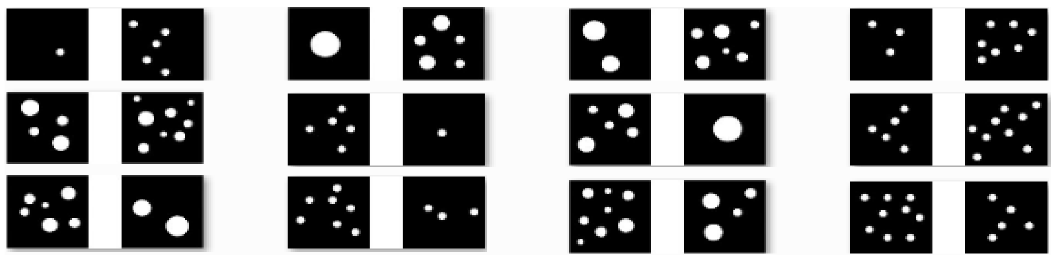
D2



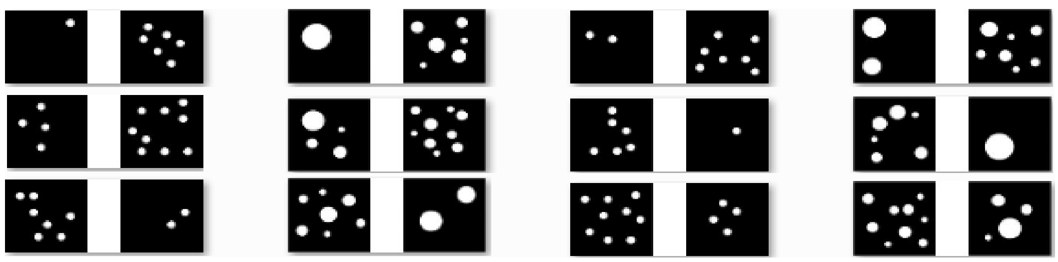
D3



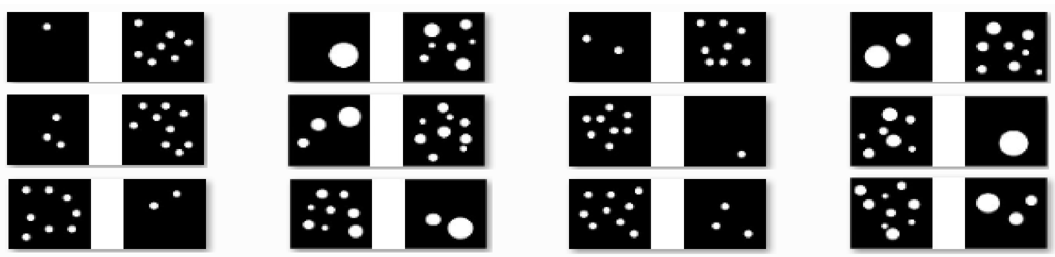
D4



D5

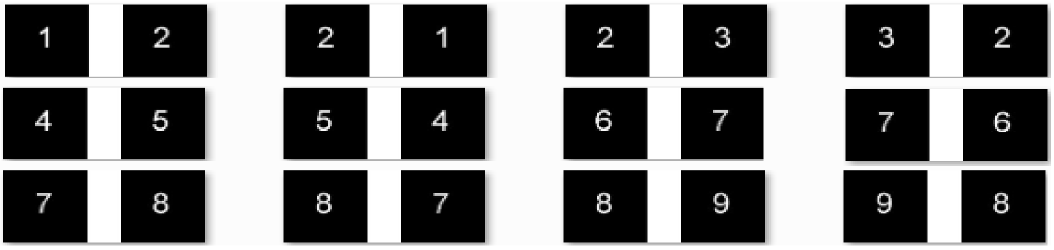


D6

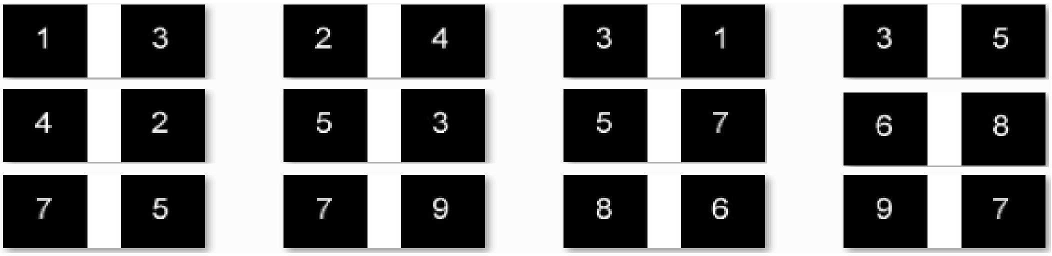


Anexo III: Conjunto de estímulos utilizados na tarefa de comparação simbólica

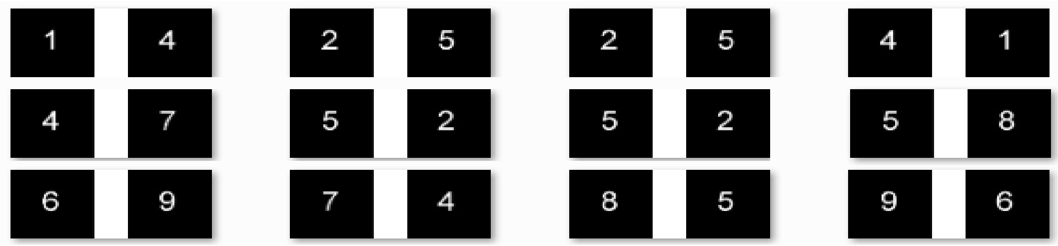
D1



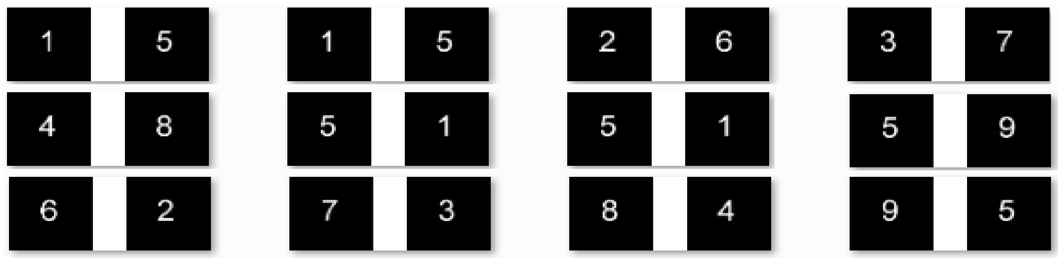
D2



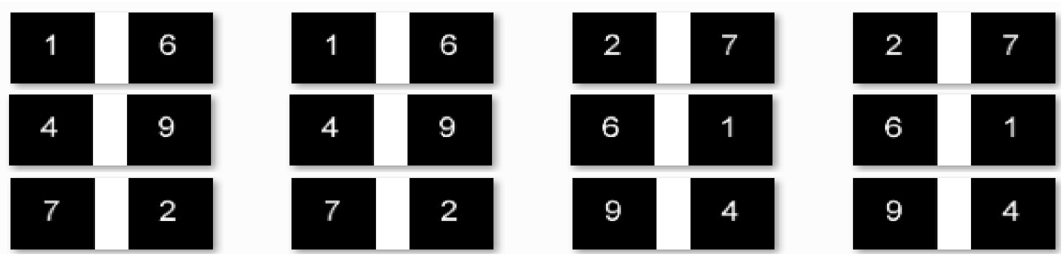
D3



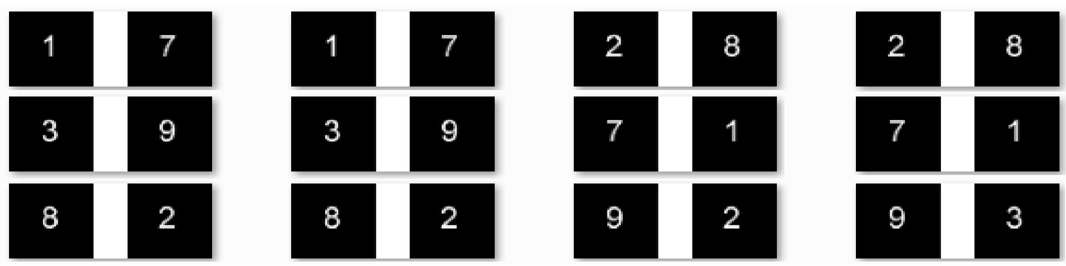
D4



D5



D6



Anexo IV: Conjunto de estímulos utilizados na tarefa de adição

Categoria	Estímulo			
Grande X+Y≥10	6 + 4 = ?	6 + 5 = ?	7 + 3 = ?	7 + 4 = ?
	7 + 5 = ?	7 + 6 = ?	8 + 2 = ?	8 + 3 = ?
	8 + 4 = ?	8 + 5 = ?	8 + 6 = ?	8 + 7 = ?
	9 + 1 = ?	9 + 2 = ?	9 + 3 = ?	9 + 4 = ?
	9 + 5 = ?	9 + 6 = ?	9 + 7 = ?	9 + 8 = ?
Pequena X+Y<10	2 + 1 = ?	3 + 1 = ?	3 + 2 = ?	4 + 1 = ?
	4 + 2 = ?	4 + 3 = ?	5 + 1 = ?	5 + 2 = ?
	5 + 3 = ?	5 + 4 = ?	6 + 1 = ?	6 + 2 = ?
	6 + 3 = ?	7 + 1 = ?	7 + 2 = ?	8 + 1 = ?
Empate X+X=2X	1 + 1 = ?	2 + 2 = ?	3 + 3 = ?	4 + 4 = ?
	5 + 5 = ?	6 + 6 = ?	7 + 7 = ?	8 + 8 = ?
	9 + 9 = ?			
Identidade X+0=X	1 + 0 = ?	2 + 0 = ?	3 + 0 = ?	4 + 0 = ?
	5 + 0 = ?	6 + 0 = ?	7 + 0 = ?	8 + 0 = ?
	9 + 0 = ?			

Anexo V: Material utilizado na tarefa de memória

Memória de Trabalho (Wechsler, 2002a)

	Ensaio 1	Ensaio 2
1.	2-5	6-3
2.	5-7-4	2-5-9
3.	7-2-9-6	8-4-9-3
4.	4-1-3-5-7	9-7-8-5-2
5.	1-6-5-2-9-8	3-6-7-1-9-4
6.	8-5-9-2-3-4-2	4-5-7-9-2-8-1
7.	6-9-1-6-3-2-5-8	3-1-7-9-5-4-8-2

Memória Verbal

	2 Palavras	3 Palavras	4 Palavras	5 Palavras	6 Palavras	7 Palavras
Ensaio 1	Borracha Cadeira	Computador Girafa Ténis	Camisa Comboio Braço Gato	Dedo Boné Elefante Tapete Pá	Bicicleta Cão Nariz Calções Livro Banana	Tigre Pé Camisola Avião Bola Limão Porta
Ensaio 2	Saia Dinossauro	Boneca Lápis Carro	Patins Caneta Morango Flor	Barco Laranja Bolacha Sino Boca	Chocolate Olhos Raquete Pêra Leão Berlinde	Televisão Sopa Peixe Maçã Saco Janela Futebol