

Investigação da estrutura e composição das funções executivas: análise de modelos teóricos

Natália Martins Dias¹

Centro Universitário Fundação Instituto de Ensino para Osasco (Fieo), Osasco – SP – Brasil

Cristiano Mauro Assis Gomes

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG – Brasil

Caroline Tozzi Reppold

Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Porto Alegre – RS – Brasil

Ana Carolina Monnerat Fioravanti-Bastos

Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ – Brasil

Emmy Uehara Pires

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ – Brasil

Luiz Renato Rodrigues Carreiro

Alessandra Gotuzo Seabra

Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo – SP – Brasil

Resumo: Apesar de relativo consenso acerca da existência de três funções executivas (FE) básicas, inibição, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva, há menor conhecimento sobre sua organização e contribuição à solução de tarefas. O estudo testou diferentes modelos teóricos acerca da estrutura e composição das FE. Utilizou-se a matriz de correlação de Miyake et al. (2000) que avaliou universitários em 15 tarefas de FE. O modelo 1 demonstra um fator geral e componentes específicos. No modelo 2, componentes básicos agrupam-se sob um componente geral FE, e, no modelo 3, os componentes memória de trabalho e inibição são hierarquicamente mais básicos do que a flexibilidade. O modelo 2 apresentou melhor ajuste aos dados. Uma quarta variável latente foi relevante e contribuiu para duas tarefas. Sustenta-se um modelo hierárquico, isto é, um fator FE geral e componentes específicos. A comparação de modelos é uma estratégia relevante para a compreensão destes em neuropsicologia.

Palavras-chave: cognição; avaliação psicológica; neuropsicologia; variável latente; psicometria.

INVESTIGATION OF STRUCTURE AND COMPOSITION OF EXECUTIVE FUNCTIONS: ANALYSIS OF THEORETICAL MODELS

Abstract: Despite relative consensus on the existence of three basic executive functions (EF) (inhibition, working memory and cognitive flexibility) there is narrower knowledge on its organization and contribution to task solution. The study tested different theoretical models about the structure and composition of EF. The correlation matrix of Miyake et al. (2000), which evaluated university students in a set of 15 EF tasks, was adopted. Model 1 displays a general factor and specific components. In model 2, the basic components are grouped under a general EF component and, in model 3, the working memory and inhibition components are hierarchically more

¹ **Endereço para correspondência:** Natália Martins Dias, Centro Universitário Fundação Instituto de Ensino para Osasco (Fieo), Avenida Franz Voegeli, 300, Bloco Prata, Parque Continental – Osasco – SP – Brasil. CEP: 06020-190. E-mail: natalia.dias@unifieo.br.

basic than flexibility. Model 2 showed a better fit to the data. A fourth latent variable was significant and contributed to two tasks. Our findings support a hierarchical model, i.e., a general EF factor and specific components. The comparison of models is a relevant strategy for their understanding in neuropsychology.

Keywords: cognition; psychological assessment; neuropsychology; latent variable; psychometrics.

INVESTIGACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS: ANÁLISIS DE LOS MODELOS TEÓRICOS

Resumen: A pesar de relativo consenso sobre la existencia de tres funciones ejecutivas (FE) básicas, inhibición, memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, hay menos conocimiento sobre su organización y cómo contribuyen a la solución de tareas. El estudio probó diferentes modelos teóricos sobre la estructura y composición de las FE. Se utilizó la matriz de correlación de Miyake *et al.* (2000), que evaluó universitarios en 15 tareas de FE. El modelo 1 demostró un factor general y constituyentes específicos. En el modelo 2, los componentes básicos se agrupan bajo un componente general de FE, y, en el modelo 3, los componentes de memoria de trabajo y de inhibición son jerárquicamente más básicos que la flexibilidad. El Modelo 2 mostró un mejor ajuste a los datos. Una cuarta variable latente fue relevante y contribuyó a dos tareas. El estudio sostiene un modelo jerárquico, es decir, un factor general de FE y componentes específicos. La comparación de los modelos es una estrategia relevante para la comprensión de estos en neuropsicología.

Palabras clave: cognición; evaluación psicológica; neuropsicología; variable latente; psicometría.

Funções executivas (FE) são habilidades que permitem o controle *top-down* do comportamento, da cognição e da emoção (Ardila, 2008; Seabra, Reppold, Dias, & Pedron, 2014; Strauss, Sherman, & Spreen, 2006). Pesquisas têm sido realizadas na tentativa de isolar e delimitar os componentes das FE (Chan, Shum, Toulopoulou, & Chen, 2008; Huizinga, Dolan, & Molen, 2006; Miyake *et al.*, 2000; Miyake & Friedman, 2012). Tais investigações originaram alguns modelos. Por exemplo, há relativo consenso acerca da existência de três FE básicas, inibição (a capacidade de o sujeito inibir respostas dominantes ou automáticas quando julgar necessário, de maneira controlada), memória de trabalho (manutenção, manipulação ativa e atualização da informação) e flexibilidade cognitiva (capacidade de mudar o foco atencional ou curso de ação) (por exemplo, Diamond, 2013; Miyake *et al.*, 2000; Miyake & Friedman, 2012). No entanto, há menor clareza acerca da organização desses componentes e de como eles contribuem, única ou conjuntamente, para a solução de tarefas.

Uma das primeiras investigações nessa área foi a de Miyake *et al.* (2000). O estudo, conduzido com uma amostra de universitários, investigou a unidade e a diversidade das FE. Os resultados da análise fatorial confirmatória suportaram a noção de que, apesar de distintos, os três componentes – inibição, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva – possuem algo comum subjacente, ou seja, não são completamente independentes. Concluiu-se que a organização dos componentes envolvidos nas FE mostra sinais de ambos, unidade e diversidade de tais habilidades. No mesmo estudo, os autores investigaram a contribuição relativa de cada componente à resolução de testes complexos comumente utilizados na avaliação das FE. O uso do termo testes complexos refere-se a tarefas que, dada sua natureza, requerem diversas habilidades executivas para sua resolução (Dias & Seabra, 2014; Strauss *et al.*, 2006). Miyake *et al.* (2000)

identificaram que a flexibilidade é crucial no cometimento de erros perseverativos no teste de classificação de cartas Wisconsin (WCST); a inibição, no desempenho na torre de Hanói; inibição e memória de trabalho, na tarefa de geração aleatória de números; e memória de trabalho, na tarefa *operation span*. No caso de tarefa dupla (*dual task*), nenhuma variável foi capaz de prever o desempenho nessa tarefa.

Mais recentemente, Miyake e Friedman (2012) sugeriram que os componentes básicos memória de trabalho e flexibilidade são resultado da combinação entre um fator comum a todas as habilidades executivas e um fator específico a cada habilidade. Assim, para resolução de testes de habilidades executivas, haveria tanto contribuição de um fator geral quanto do fator específico. Os autores não encontraram um fator específico inibição, de modo que o respectivo componente parece ser totalmente explicado pelo fator geral FE. Esse fator geral seria responsável por manter ativo o objetivo da tarefa e informações relacionadas, e usar tais dados na orientação do comportamento/processamento. Dessa forma, apesar de ambos os modelos propostos por Miyake *et al.* (2000) e Miyake e Friedman (2012) terem sido derivados empiricamente por meio de abordagens de variável latente, chegaram a resultados diferentes acerca da estrutura componencial das FE.

Outros estudos também encontraram diferentes evidências para os componentes de memória de trabalho e flexibilidade (Huizinga *et al.*, 2006) ou para memória de trabalho e inibição (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Esses achados podem estar atrelados às amostras dos estudos. Por exemplo, o estudo de Huizinga *et al.* (2006) incluiu crianças de 7 anos até adultos com 21 anos, enquanto St Clair-Thompson e Gathercole (2006) investigaram os componentes das FE em um grupo de crianças de 11 a 12 anos. De fato, evidências sugerem um componente mais geral de FE na infância e uma diferenciação dessas habilidades com o desenvolvimento. Isso é sustentado pelo estudo de Brydges, Fox, Reid e Anderson (2014) que identificaram uma estrutura fatorial unitária em crianças entre 8 e 9 anos, porém uma estrutura bifatorial nas mesmas crianças avaliadas entre 10 e 11 anos de idade. No modelo bifatorial, os autores identificaram o componente memória de trabalho. Entretanto, o segundo componente não diferenciou as habilidades de inibição e flexibilidade. Ainda, os autores identificaram que os dois componentes estavam moderadamente relacionados entre si.

Além de aspectos desenvolvimentais que podem influenciar na diferenciação das FE e, conseqüentemente, na estrutura dos modelos encontrados nesses estudos, outro ponto que deve ser considerado são as tarefas ou índices específicos utilizados nos estudos. Por exemplo, em estudo com crianças pré-escolares, Miller, Giesbrecht, Müller, McInerney e Kerns (2012) identificaram um modelo unifatorial de FE, teoricamente esperado. Contudo, na mesma amostra, após inclusão de novas variáveis, encontraram um modelo com dois fatores correlacionados que diferenciou os componentes memória de trabalho e inibição. Isso ilustra a sensibilidade dos modelos gerados a mudanças relativamente pequenas na entrada de dados e sugere que, minimamente, seja necessária cautela na interpretação e generalização desses modelos.

Por uma via diferente dos estudos de modelagem, considerando pressupostos teóricos e estudos na área de neuropsicologia e cognição, outro modelo de FE foi sugerido

por Diamond (2013). A autora também considera as habilidades básicas de inibição, memória de trabalho e flexibilidade. Entretanto, reitera que a flexibilidade envolve, em alguma extensão, inibição e memória de trabalho. Ou seja, para abordar um problema a partir de uma nova perspectiva, seria necessário inibir a perspectiva prévia e ativar, na memória de trabalho, a nova abordagem ao problema. A flexibilidade surgiria a partir da interação entre as demais habilidades do modelo, inibição e memória de trabalho. A interação entre as três habilidades básicas conduziria às FE superiores ou complexas, como planejamento, tomada de decisão e raciocínio.

Assim, resumidamente, apesar de alguns estudos terem sugerido a existência dos três componentes básicos inibição, memória de trabalho e flexibilidade, nem todas as investigações têm encontrado os mesmos resultados. Há evidências, em alguns estudos, de um fator geral de FE e, em outros, sugestões de uma estrutura hierárquica entre os componentes.

Compreender os componentes específicos das FE, a natureza de sua interação e como contribuem para a solução de tarefas é fundamental para entender a apresentação de dificuldades nessas habilidades, o que é de fato avaliado pelos testes de FE, e pensar na necessidade de intervenções que enderecem, global ou especificamente, essas (e quais delas) funções. Nesse sentido, a psicométrica pode contribuir para neuropsicologia com a testagem de modelos teóricos de FE (Reppold *et al.*, 2015).

O objetivo deste estudo foi testar diferentes modelos teóricos acerca da estrutura e composição das FE, a partir de uma matriz de correlações entre instrumentos que avaliam distintos aspectos dessa habilidade, publicada originalmente por Miyake *et al.* (2000). De forma mais específica, o estudo investigou se há subsídio empírico para: 1. o novo modelo proposto por Miyake e Friedman (2012) acerca da existência de um componente geral de FE e de componentes específicos ortogonais ao geral; 2. um modelo hierárquico que considere um componente geral e componentes específicos subordinados a ele; e 3. a suposição de Diamond (2013) que considera que os componentes memória de trabalho e inibição, hierarquicamente superiores, contribuiriam ao terceiro componente, mais complexo, flexibilidade. Diferentemente do estudo de Miyake *et al.* (2000), em que os modelos incluíram tarefas simples e, após, uma a uma, os autores inseriram as tarefas complexas, optou-se neste estudo pela execução de um único modelo para cada modelagem, no qual foram introduzidas todas as tarefas, simples e complexas simultaneamente.

Método

Para a análise dos dados, utilizou-se a matriz de correlação do estudo de Miyake *et al.* (2000) que aplicaram em 137 universitários os instrumentos *plus-minus task* (Plus), *number-letter task* (Number) e *local-global task* (Local), para avaliar flexibilidade e alternância entre tarefas; *keep track task* (Keep), *tone monitoring task* (Tone) e *letter memory task* (Letter), para avaliar memória de trabalho e *updating*; *antisaccade task* (Anti), *stop-signal task* (Stop) e *stroop task* (Stroop), para avaliar inibição. Utilizaram-se também o *Wisconsin card sorting test* (WCST), *tower of Hanoi* (ToH), *random number generation* (RNG), *operation span task* (Oper) e *dual task* (Dual)

como tarefas complexas de FE. Tanto os dados dos participantes quanto dos testes utilizados na modelagem foram extraídos do estudo de Miyake *et al.* (2000), de modo que as descrições completas podem ser consultadas no estudo original.

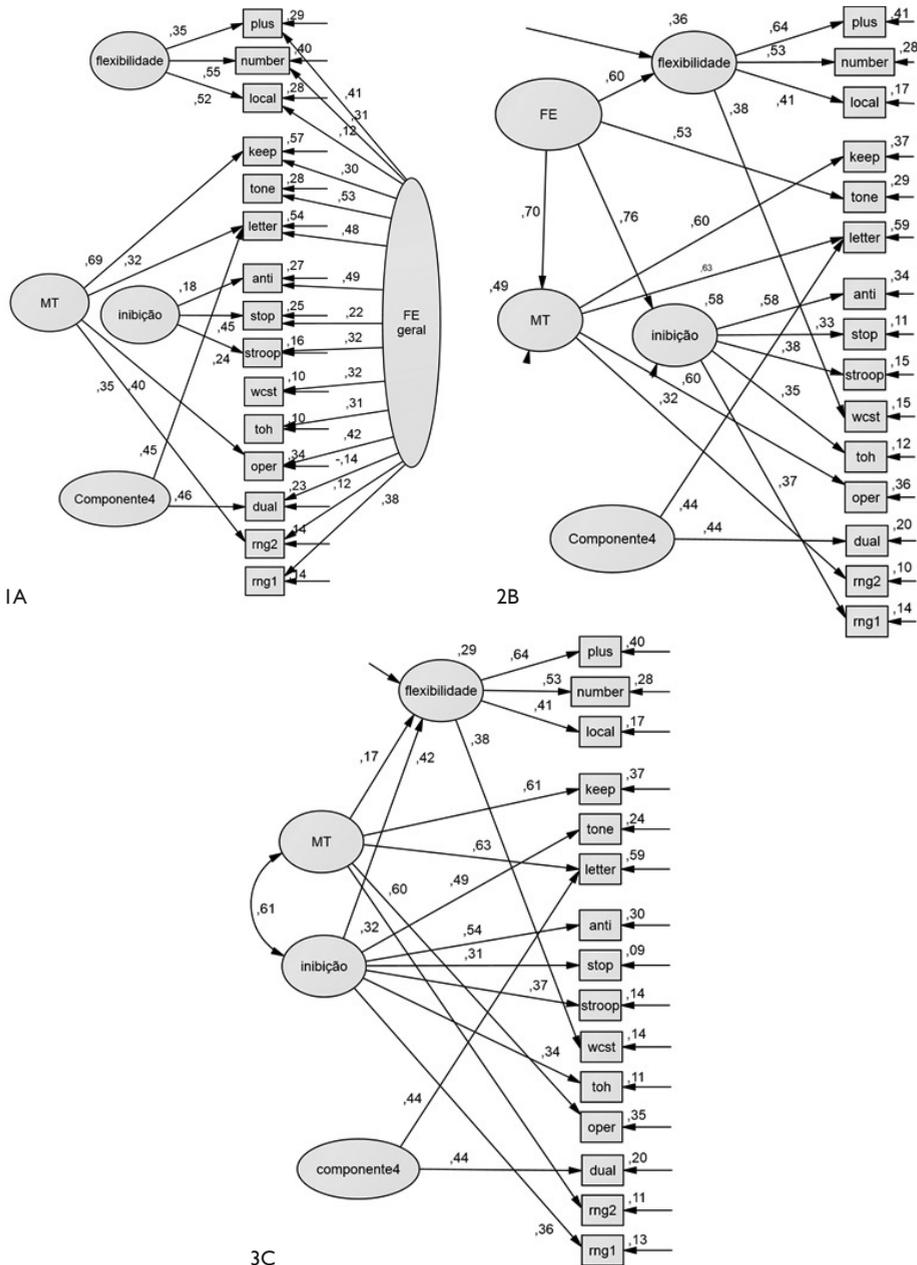
Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada por meio da matriz de correlação do estudo original de Miyake *et al.* (2000). Aplicou-se o modelamento por equação estrutural para comparação dos modelos, com estimação da máxima verossimilhança. O *software* utilizado para a análise foi o Amos 18.0. Para verificar o grau de ajuste aos dados, adotaram-se os índices de ajuste *comparative fit index* (CFI), *Tucker-Lewis index* (TLI) e o *root mean square error of approximation* (RMSEA); para comparação entre os modelos, utilizaram-se os graus de ajuste *Akaike criterion index* (AIC) e *Bayesian criterion index* (BIC). Quanto ao bom ajuste aos dados, consideraram-se valores iguais ou superiores a 0,95 para o CFI e TLI, e valores iguais ou inferiores a 0,06 para o RMSEA (Hooper, Coughlan, & Mullen, 2008). Diferenças de até seis pontos no BIC são consideradas positivas para concluir que um modelo é superior a outro, mas apenas diferenças de seis a dez pontos são consideradas fortes, e diferenças maiores que dez pontos são decisivas (Kass & Raftery, 1995).

Resultados

Avaliaram-se três modelos em termos do seu grau de ajuste aos dados, assim como foram comparados entre si. A Figura 1 apresenta as relações em cada modelo. O primeiro modelo (modelo 1), representado no item "a" da Figura 1, testou a presença de uma função executiva geral e FE específicas. Desses componentes específicos, três provêm da teoria (inibição, flexibilidade e memória de trabalho). O quarto componente foi acrescentado por meio de estratégias exploratórias, pela observação dos índices de modificação dos valores do qui-quadrado do modelo, quando se agregou uma nova relação ao componente. Todos os componentes foram modelados como independentes entre si. Nesse modelo, o fator geral explicou o desempenho dos participantes em todos os 15 testes, enquanto os componentes específicos explicaram o desempenho de grupos particulares de testes, variando de dois a quatro testes por grupo. O modelo 2, representado no item "b" da Figura 1, testou um modelo hierárquico com um componente geral e componentes específicos subordinados a ele. O componente geral explica diretamente os componentes de inibição, flexibilidade e memória de trabalho. Semelhante ao modelo 1, o modelo 2 também postula a presença de um quarto componente específico, independente dos demais, que contribuiu para explicar o desempenho dos participantes do estudo em dois dos testes utilizados (*letter memory task* e *dual task*). O último modelo, modelo 3, representado no item "c" da Figura 1, testou a existência dos componentes memória de trabalho e inibição, hierarquicamente superiores ao terceiro componente, mais complexo, flexibilidade. Essas três FE explicam diretamente o desempenho dos participantes em 14 dos 15 testes aplicados. Como nos modelos anteriores, um quarto componente, ortogonal aos demais, explica a variância de dois dos testes incluídos na análise.

Figura 1. Modelos testados pela modelagem de equação estrutural: modelo 1 (a) – presença de um fator FE geral e de componentes específicos; modelo 2 (b) – modelo hierárquico, com um componente geral e componentes específicos subordinados; e modelo 3 (c) – componentes memória de trabalho e inibição hierarquicamente mais básicos do que o terceiro componente, flexibilidade. Em todos os modelos, um quarto componente, ortogonal aos demais, contribuiu para determinadas tarefas



Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 1 apresenta os índices de ajuste dos três modelos. Todos apresentaram ótimos índices de ajuste aos dados. A comparação dos três modelos foi realizada a partir dos índices AIC e BIC. A diferença do índice AIC entre os modelos 1 e 2 foi de 8,126 e do índice BIC foi de 31,308, indicando uma diferença decisiva a favor do modelo 2. Entre os modelos 1 e 3, verificou-se diferença de 5,55 para o índice AIC e de 28,732 para o BIC, indicando diferença decisiva a favor do modelo 3. Por sua vez, a diferença entre os modelos 2 e 3 foi de 2,576 para o AIC e 2,576 para o BIC, indicando uma diferença favorável, apesar de não decisiva, ao modelo 2. Em síntese, os modelos 2 e 3 mostraram-se mais adequados em relação ao 1, que postula uma habilidade geral e habilidades específicas ortogonais. Esses dois modelos serão, portanto, descritos em mais detalhes.

Tabela 1. Indicadores de ajuste dos modelos 1, 2 e 3

Modelos	χ^2	GI	TLI	CFI	RMSEA	AIC	BIC
Modelo 1	72,463	79	1,055	1,000	0,000	154,463	273,274
Modelo 2	80,337	87	1,051	1,000	0,000	146,337	241,966
Modelo 3	82,913	87	1,031	1,000	0,000	148,913	244,542

Fonte: Elaborada pelos autores.

No Modelo 2, ilustrado na Figura 1b, todos os betas apresentaram valores estatisticamente significativos ($p \leq 0,010$), assim como as variâncias observadas para todos os componentes inseridos no modelo, latentes ou observáveis ($p \leq 0,044$), com exceção de FE ($p = 0,084$) e inibição ($p = 0,138$). No modelo 3, ilustrado na Figura 1c, todos os betas apresentaram valores estatisticamente significativos ($p \leq 0,011$), com exceção dos coeficientes de memória de trabalho para flexibilidade ($p = 0,453$) e de inibição para flexibilidade ($p = 0,099$). Observaram-se, para todas as variáveis inseridas no modelo, latentes ou observáveis, valores estatisticamente significativos das variâncias ($p \leq 0,013$).

Uma diferença importante do modelo 2 em relação ao modelo 3 refere-se à presença de uma FE básica latente no modelo 2 e sua ausência no modelo 3. O modelo 2 dá conta de explicar 36% da variância da variável latente de flexibilidade por meio da FE básica, que apresenta um beta de 0,60 ante a flexibilidade. Por sua vez, o modelo 3 dá conta de explicar 29% da variância da variável latente de flexibilidade. Desses 29%, a inibição responde exclusivamente por 17,64 pontos percentuais, a memória de trabalho responde exclusivamente por 2,89 pontos percentuais, enquanto o restante, ou seja, 8,47 pontos percentuais, é explicado pela covariância da inibição e memória de trabalho.

Discussão

O objetivo deste estudo foi testar modelos teóricos acerca dos componentes das FE, a partir de uma matriz de correlações entre instrumentos que avaliam distintos componentes dessa habilidade. Três modelos foram testados e todos mostraram bom

ajuste aos dados. O primeiro modelo baseia-se na suposição mais recente de Miyake e Friedman (2012) que sugere que os componentes básicos são resultado da combinação entre um fator FE geral e componentes específicos. No presente estudo, para além do componente FE geral, quatro componentes específicos, ortogonais entre si, foram avaliados: memória de trabalho, inibição, flexibilidade e um quarto componente, não esperado, que apresentou contribuição à resolução das tarefas *letter memory task* e *dual task*; a contribuição a esta última tarefa foi única. Assim, na resolução dos distintos instrumentos, identificou-se contribuição tanto do componente FE geral, que pode servir ao monitoramento do desempenho ou, de acordo com Miyake e Friedman (2012), para manutenção do objetivo da tarefa, quanto dos componentes específicos. Esse resultado sugere um bom ajuste do modelo com fatores geral e específicos independentes. Porém, apesar de ajustes satisfatórios, os índices AIC e BIC revelaram que os modelos 2 e 3 foram superiores.

O modelo 2 testou uma diferente configuração, com os componentes específicos agrupados sob o componente geral FE. Esse modelo aproxima-se mais da primeira sugestão de Miyake *et al.* (2000) que delimitaram a unidade e a diversidade das FE, ou seja, apesar de relativamente correlacionadas entre si, as três habilidades básicas de inibição, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva apresentam também relativa independência. Diferencia-se, porém, do modelo de Miyake *et al.* (2000), pois, neste, as variáveis latentes inibição, flexibilidade e memória de trabalho estavam apenas relacionadas entre si, ao passo que, no presente estudo, houve evidências de que esses componentes estão subordinados a um mais geral, FE. No atual modelo, apesar de inseridos numa hierarquia e subordinados a um componente geral FE, os componentes específicos contribuem para o desempenho nas diversas tarefas executivas. É interessante observar que, assim como no modelo 1, um quarto componente, independente dos demais, também foi relevante e, novamente, está associado aos desempenhos em *letter memory task* e *dual task*.

O terceiro modelo baseia-se na concepção de Diamond (2013), segundo a qual há três habilidades executivas básicas, inibição, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva. Porém, para a autora, a flexibilidade está fundamentada sobre as duas outras habilidades. Esse modelo recebeu suporte empírico e é representado no modelo 3, no qual as variáveis latentes inibição e memória de trabalho explicam a variável latente flexibilidade cognitiva. Assim como nos modelos anteriores, as variáveis latentes explicam os desempenhos nas tarefas utilizadas, e, novamente, o quarto componente, ortogonal às demais variáveis, contribuiu para o desempenho em duas destas tarefas. Os modelos 2 e 3 são relativamente semelhantes entre si. A diferença entre eles repousa na natureza da relação entre seus componentes, ou seja, enquanto no modelo 2 os três componentes básicos relacionam-se ao fator geral FE, ainda que sejam relativamente independentes entre si, no modelo 3, o componente flexibilidade cognitiva é derivado dos componentes memória de trabalho e inibição, associados entre si. Apesar de superior ao modelo 1 e de se mostrar bastante adequado em relação ao modelo 2, no modelo 3 os betas de memória de trabalho para flexibilidade e de inibição

para flexibilidade não se revelaram significativos, de modo que não fica claro o quanto essas variáveis podem de fato contribuir para o componente flexibilidade. Assim, o modelo 2 permanece como mais satisfatório. Nesse sentido, o objetivo do estudo, testar diferentes modelos teóricos, foi atingido, sendo encontrado maior número de evidências a favor do modelo 2, em detrimento do modelo mais recente de Miyake e Friedman (2012) e do de Diamond (2013).

Diferentemente do estudo de Miyake *et al.* (2000), no qual o modelo incluiu apenas as tarefas simples e, após, uma a uma, as tarefas complexas, neste estudo optou-se pela inclusão de todas as tarefas, simples e complexas, simultaneamente. Assim, além de testar diferentes modelos teóricos, essa configuração permitiu verificar se os modelos sugeririam novas interações entre as variáveis. Tal como ocorreu no estudo de Miller *et al.* (2012), a inclusão de novas variáveis pode gerar mudanças no modelo. No entanto, observou-se que as interações encontradas mantiveram-se bastante fiéis às observadas no estudo original.

Desse modo, considerando o modelo 2, mais adequado, verificou-se que o componente flexibilidade contribuiu para as tarefas simples *plus-minus task*, *number-letter task* e *local-global task*, que, já *a priori*, eram consideradas como tarefas de flexibilidade. O componente inibição contribuiu para *antisaccade task*, *stop-signal task* e *stroop task*, também conforme esperado. Já o componente memória de trabalho contribuiu para *keep track task* e *letter memory task*, porém não para o desempenho em *tone monitoring task*, todas tarefas consideradas *a priori* como avaliando memória de trabalho. *Tone monitoring task* recebeu contribuição única do fator geral FE, o que pode sugerir que a tarefa envolva diferentes demandas. Por exemplo, essa tarefa exige o monitoramento e o julgamento da irrelevância de um estímulo para a solução da tarefa e, conseqüentemente, o “descarte” dessa informação, ou seja, negligência de objetivo (Duncan *et al.*, 2008), ao passo que, nas duas outras tarefas de memória de trabalho, todos os estímulos eram relevantes e precisavam ser processados para a solução adequada. Isso pode explicar por que a tarefa de *tone monitoring task* não foi explicada pelo fator de memória de trabalho que, no presente estudo – conforme dados extraídos de Miyake *et al.* (2000) –, parece estar basicamente relacionada ao *updating*, bem mais do que a esse aspecto de monitoramento e exclusão de estímulos irrelevantes. Esse entendimento pode, inclusive, auxiliar a compreender por que o componente específico inibição se sobrepõe ao componente de FE geral em Miyake e Friedman (2012). Ou seja, se essa demanda de monitoramento e exclusão de estímulos irrelevantes estiver presente essencialmente nas tarefas de inibição mas também nas demais tarefas (como memória de trabalho ou flexibilidade), pode-se pensar que é o aspecto mais comum às diversas tarefas de FE. Isso também ajudaria a explicar por que o fator geral de FE não explicou de forma significativa os desempenhos nas tarefas de inibição, visto que esse fator geral já explica o próprio fator específico de inibição (58% da variância de inibição é explicada pelo fator geral), logo já está contribuindo, indiretamente, para as tarefas de inibição. Inclusive no modelo 3, em que não há um fator

geral de FE, é o componente de inibição que explica a tarefa de *tone* e também contribui para maior número de desempenhos em testes.

Ainda no modelo 2, as três variáveis latentes também contribuíram para os desempenhos nas tarefas complexas, sendo: flexibilidade para WCST, memória de trabalho para *operation span task* (Oper) e *random number generation* (RNG2), e inibição para *tower of Hanoi* (ToH) e *random number generation* (RNG1). Dois pontos merecem destaque aqui. Um se refere ao fato de que nenhuma das tarefas complexas recebeu contribuição de mais de uma variável latente do modelo. Por um lado, tal fato questiona a noção de tarefas simples *versus* complexas, as quais, por definição, seriam aquelas cuja resolução exigiria mais de um dos componentes das FE (Strauss *et al.*, 2006).

Por outro lado, limitações inerentes aos dados/instrumentos não permitem afirmar que essas tarefas complexas não possuam outras demandas. Por exemplo, a maior variância compartilhada (36%) foi entre memória de trabalho e o desempenho em *operation span task* (Oper). A grande variância não explicada sugere que outras habilidades participem desse desempenho. É possível que esse achado seja um viés das variáveis latentes derivadas dos instrumentos específicos utilizados no estudo, com base em suas demandas específicas. Por exemplo, as tarefas simples utilizadas *keep track task* e *letter memory task* têm alta demanda sobre a atualização da memória de trabalho (*updating*), mas demanda menor sobre a manipulação da informação propriamente, de modo que a variável latente memória de trabalho pode estar refletindo mais esse aspecto específico do que o construto mais amplo de memória de trabalho. Novas pesquisas devem procurar esclarecer esse ponto.

Outro ponto a ser destacado se refere à presença de uma quarta variável latente, independente das demais e com contribuições às tarefas *letter memory task*, em conjunto com memória de trabalho, e única a *dual task*. Hipotetizar a função desse componente requer compreender as demandas dessas tarefas, tanto as explicadas por outras variáveis latentes, caso da *letter memory task*, quanto a demanda comum em ambas e que poderia ser atribuída ao quarto componente. Para desempenhar-se em *letter memory task*, o participante precisa manter uma sequência de letras em mente, atualizar essa sequência a cada item apresentado e pronunciar as quatro *últimas letras*. Por sua vez, em *dual task*, as demandas são mais complexas. O teste é dividido em duas tarefas realizadas separada e simultaneamente. A tarefa de labirinto envolve planejamento e antecipação (Strauss *et al.*, 2006); a de geração de palavras envolve fluência, cujas demandas incluem memória de trabalho auditiva, flexibilidade e inibição (Dias & Seabra, 2014). O índice utilizado, no entanto, elimina a demanda das tarefas individuais da demanda de realização simultânea. Assim, a demanda restante poderia ser a relativa ao desempenho de duas tarefas simultaneamente ou à alocação de recursos atencionais. Em *letter memory task*, ainda que em menor grau, essa divisão de recursos também aconteceria para dar conta de dois processos que ocorrem de forma simultânea (manter a informação na memória de curto prazo por meio da reverberação e,

a cada novo estímulo, suprimir a primeira letra da sequência e adicionar a última, atuando a informação de forma contínua). Outra possibilidade é que o fato de o participante precisar verbalizar a sequência exige um processamento adicional, gerando também mais uma tarefa que precisa ser executada simultaneamente às demais. Esse quarto componente poderia referir-se, então, a uma fonte extra de atenção requerida nos testes que apresentem tarefas simultâneas (situação/diferente das tarefas que se agruparam no componente flexibilidade, em que há alternância e não simultaneidade).

As conclusões aqui mencionadas estão possivelmente atreladas à amostra tanto de testes quanto de participantes do estudo do qual se extraíram os dados para a modelagem. Ou seja, Miyake *et al.* (2000) usaram testes específicos, que podem demandar processos específicos, e avaliaram universitários. O uso de tais dados pode, inclusive, ser apontado como uma limitação deste estudo, uma vez que a escolha de diferentes instrumentos poderia possibilitar a exploração de outros componentes e demandas. Em suma, os achados aqui relatados apontam, em adultos, a favor de um modelo hierárquico, constituído por um fator FE geral e componentes específicos que contribuem para o desempenho em tarefas simples e complexas. O estudo reitera que a psicometria pode colaborar para a compreensão de construtos teóricos, esclarecendo componentes e modelos em neuropsicologia (Reppold *et al.*, 2015).

Considerações finais

O estudo testou três modelos teóricos acerca da estrutura e dos componentes das FE. Apesar de todos mostrarem-se satisfatórios, o modelo 2 mostrou-se superior aos demais. O modelo sugere a presença de um fator geral FE, hierarquicamente superior e sob o qual se agrupam os três componentes básicos, inibição, flexibilidade e memória de trabalho, os quais contribuem para o desempenho nas diversas tarefas. O fator FE geral apenas contribuiu diretamente para o desempenho em uma dentre as 15 medidas utilizadas. A partir do modelo, verificou-se que as chamadas tarefas complexas de FE não receberam contribuição de mais de um componente do modelo, o que não era esperado. Ainda, um quarto componente foi sugerido pelo modelo estatístico, independente dos componentes de FE e com contribuição à resolução de duas tarefas. Estudos futuros deverão tentar esclarecer as demandas dos testes complexos, a natureza do fator geral de FE aqui evidenciado e, de modo complementar, a natureza de outras demandas dos testes empregados. O uso de técnicas oriundas da psicometria na análise de modelos em neuropsicologia pode ajudar a compreender os construtos teóricos, suas relações, assim como as demandas envolvidas nos instrumentos de avaliação, muitos dos quais classicamente utilizados na área.

Referências

- Ardila, A. (2008). On the evolutionary origins of executive functions. *Brain and cognition*, 68(1), 92-99.
- Brydges, C. R., Fox, A. M., Reid, C. L., & Anderson, M. (2014). The differentiation of executive functions in middle and late childhood: a longitudinal latent-variable analysis. *Intelligence*, 47, 34-43.
- Chan, R. C., Shum, D., Touloupoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 23(2), 201-216.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168.
- Dias, N. M., & Seabra, A. G. (2014). The FAS fluency test in Brazilian children and teenagers: executive demands and the effects of age and gender. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 72, 55-62.
- Duncan, J., Parr, A., Woolgar, A., Thompson, R., Bright, P., Cox, S., & Nimmo-Smith, I. (2008). Goal neglect and Spearman's: competing parts of a complex task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(1), 131.
- Hooper, D., Coughlan, J., & Mullen, M. (2008). Structural equation modelling. Guidelines for determining model fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6(1), 53-60.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & Molen, M. W. van der (2006). Age-related change in executive function: developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44(11), 2017-2036.
- Kass, R. E., & Raftery, A. E. (1995). Bayes factors. *Journal of the American Statistical Association*, 90(430), 773-795.
- Miller, M. R., Giesbrecht, G. F., Müller, U., McInerney, R. J., & Kerns, K. A. (2012). A latent variable approach to determining the structure of executive function in preschool children. *Journal of Cognition and Development*, 13(3), 395-423.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14.
- 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.
- Reppold, C. T., Gomes, C. M. A., Seabra, A. G., Muniz, M., Valentini, F., & Laros, J. A. (2015). Contribuições da psicometria para os estudos em neuropsicologia cognitiva. *Psicologia: Teoria e Prática*, 17(2), 94-106.

Seabra, A. G., Reppold, C. T., Dias, N. M., & Pedron, A. C. (2014). Modelos de funções executivas. In A. G. Seabra, J. A. Laros, E. C. Macedo & N. Abreu (Eds.). *Inteligência e funções executivas: avanços e desafios para a avaliação neuropsicológica* (pp. 41-55). São Paulo: Memnon.

St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745-759.

Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: administration, norms, and commentary*. Oxford University Press.

Submissão: 5.12.2014

Aceitação: 7.4.2015