

Realidade Virtual na Reabilitação: Por Que Sim e Por Que Não? Uma Revisão Sistemática



Virtual Reality and Rehabilitation: Why or Why Not? A Systematic Literature Review

Artemisa R. DORES, Fernando BARBOSA, António MARQUES, Irene P. CARVALHO, Liliana DE SOUSA, Alexandre CASTRO-CALDAS

Acta Med Port 2012 Nov-Dec;25(6):414-421

RESUMO

O processo de reabilitação, independentemente da área de saúde a que se refere, continua a ser um desafio para profissionais, pacientes e suas famílias. Na tentativa de superar as limitações das intervenções tradicionais, a tecnologia de Realidade Virtual (RV) tem sido aplicada de forma crescente à reabilitação e começa a fornecer importantes ferramentas que, contudo, geram debate e posicionamentos divergentes.

Com o objetivo de investigar quais os contributos da RV aplicada ao domínio da reabilitação, nomeadamente em termos das vantagens e limitações que comporta, o presente estudo procede a uma revisão sistemática da produção científica nesta área e apresenta um modelo que permite, de modo hierarquizado, descrever e sistematizar a natureza dos estudos revistos e as principais temáticas abordadas.

A revisão sistemática focou-se sobre trabalhos científicos indexados, até novembro de 2010, na base de dados ISI Web of Knowledge. Os trabalhos incluídos foram analisados por dois investigadores independentes no programa NVivo 9 e o modelo desenvolvido aplicado à recodificação do material em análise. Foram identificados 963 artigos, dos quais, aplicados os critérios de exclusão, 288 títulos e resumos foram analisados. O modelo desenvolvido indica, como categorias centrais da bibliografia: Tipo de Artigo (Empírico; Teórico); Contextualização do Projeto; Tipo de Abordagem (Tecnologia Assistiva; Realidade Aumentada; Abordagens Tradicionais; Realidade Virtual). Esta última categoria (RV) foi decomposta de forma exaustiva para documentação da sua aplicabilidade, efeitos e tendências futuras. Como vantagens da RV, surgem: a possibilidade de sua aplicação a uma diversidade de domínios, funções cognitivas, comportamentos, doenças neurológicas e incapacidades físicas; as suas características e respetivas consequências; e a possibilidade de superar limitações das intervenções tradicionais. Do lado das limitações aparecem discutidos: os efeitos secundários da RV, as causas das limitações e precauções sugeridas. Os resultados evidenciam tendências promissoras acerca da utilização da tecnologia de RV no domínio da reabilitação, com implicações para a forma como será realizada no futuro. Sugerem ainda a necessidade de dar continuidade aos trabalhos que procuram avaliar a aplicabilidade da RV na reabilitação em geral e na reabilitação (neuro) cognitiva em particular.

ABSTRACT

Regardless of the health domain involved, the process of rehabilitation remains a challenge for professionals, patients and their families. In an attempt to overcome the limitations of traditional interventions, the technology of Virtual Reality (VR) has been increasingly applied to rehabilitation and begins to provide important tools which, however, generate debate and divergent positions.

In order to examine VR's contributions to the field of rehabilitation in terms of its advantages and limitations, this study presents a systematic review of scientific literature in this area and provides a hierarchical model describing and systematizing the nature of the studies reviewed and their main subjects.

The literature review focused on scientific papers indexed, until November 2010, in the ISI Web of Knowledge databases. Two independent researchers analyzed the included papers in NVivo 9 and the developed model was applied to the recoding of the material. A total of 963 articles were identified, of which 288 titles and abstracts were reviewed, after application of the exclusion criteria. The model indicates, as central categories in the literature: Type of Article (Empirical, Theoretical); Project Background; Type of Approach (Assistive Technology; Augmented Reality; Traditional Approaches; Virtual Reality). This last category (VR) was exhaustively decomposed so that its applicability, effects and future trends could be documented. Results suggest that VR's advantages include: its possible application to a variety of fields, cognitive functions, behaviors, neurological disorders and physical disabilities; its characteristics and respective consequences; and its potential to overcome limitations of traditional interventions. On the side of the limitations, papers address: VR's side effects, causes for the limitations, and suggested precautions. The results show promising trends in the use of VR technology in the field of rehabilitation, with implications for its future implementation. Results further indicate the need for continuing research that evaluates VR's applicability to rehabilitation in general and (neuro)cognitive rehabilitation in particular.

A.R.D.: Departamento Ciências Biomédicas. Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Universidade do Porto & Laboratório de Reabilitação Psicossocial. Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, Universidade do Porto & Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, Instituto Politécnico do Porto. Porto. Portugal.

F.B.: Laboratório de Neuropsicofisiologia. Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto. Porto. Portugal.

A.M.: Laboratório de Reabilitação Psicossocial, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, Universidade do Porto & Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, Instituto Politécnico do Porto. Porto. Portugal.

I.P.C.: Departamento de Neurociências Clínicas e Saúde Mental. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto. Porto. Portugal.

L.S.: Departamento de Ciências Biomédicas. Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Universidade do Porto. Porto. Portugal.

A.C.-C.: Departamento de Ciências da Saúde. Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Católica Portuguesa. Porto. Portugal.

Recebido: 19 de Dezembro de 2011 - Aceite: 19 de Outubro de 2012 | Copyright © Ordem dos Médicos 2012

INTRODUÇÃO

Assistimos hoje a um proliferar de publicações acerca da aplicabilidade da tecnologia de realidade virtual (RV), que transcendem o tradicional domínio do entretenimento, como o cinema, os jogos eletrónicos ou a publicidade, fonte quase exclusiva da sua aplicação durante as últimas décadas. Mesmo sendo considerada uma tecnologia recente, os primórdios da RV estão associados à indústria aeroespacial e de defesa americanas,^{1,2} aos trabalhos do cineasta Morton Heiling, na década de 60^{3,4} e de Sutherland, reconhecido como o criador da RV.^{2,4} Na década de 80, Jaron Lanier, contribuiu decisivamente para a popularização do termo RV e para a aplicação desta tecnologia a fins comerciais.^{5,6} A maior facilidade de acesso à RV viria a desencadear renovações metodológicas em diversas áreas, na procura de soluções mais flexíveis e inovadoras.

O potencial desta tecnologia advém das suas principais características, designadamente a possibilidade de imersão do utilizador num mundo percetivo gerado por computador, ou seja, a emulação laboratorial da realidade e a sensação do sujeito de que lá está realmente (presença),^{7,8} a possibilidade de interação com o ambiente em tempo real, conferindo ao sujeito um papel ativo, por exemplo, na exploração/navegação do ambiente, e o maior envolvimento, concebido como participação, atenção e persistência do utilizador na tarefa, isto é, o seu investimento motivacional.

Das áreas que se têm dedicado à aplicação da RV, destacamos a das Ciências da Saúde, onde tem sido utilizada na investigação, formação/educação, avaliação e intervenção terapêutica ou reabilitativa em diversos domínios. Enquanto instrumento de investigação permite a exposição do utilizador a ambientes virtuais que podem simular acontecimentos realmente vivenciados e, por exemplo, a monitorização e a avaliação objetiva, em tempo real, das suas reações psicofisiológicas.^{9,10} Enquanto instrumento de formação/educação, permite o desenvolvimento de competências cruciais ao exercício profissional, passíveis de aquisição através de treino simulado (e.g., procedimentos cirúrgicos complexos).^{11,12} Por último, a sua utilização enquanto instrumento de avaliação e reabilitação ou tratamento permite ultrapassar limitações das ferramentas tradicionais, esperando-se que contribua para potenciar os efeitos das intervenções existentes e otimizar a sua eficiência. A título de exemplo, vários trabalhos publicados demonstram o interesse da RV na reabilitação motora,¹³ do equilíbrio e/ou marcha,¹⁴ ou no treino da manipulação de cadeiras de rodas,¹⁵ na reabilitação neurocognitiva de pessoas com traumatismos cranioencefálicos¹⁶⁻¹⁸ ou, ainda, em vítimas de doenças cardiovasculares.¹⁹ No domínio da saúde mental, a RV tem sido aplicada no tratamento das fobias, permitindo o confronto controlado dos doentes com as situações fóbicas²⁰ e na perturbação de stresse pós-traumático, viabilizando a exposição *in vivo* do paciente ao ambiente stressor, de forma gradual, prolongada e sistemática. Também no comportamento aditivo e em outras patologias do impulso,^{21,22} a RV pode ser utilizada como parte integrante de uma abordagem cognitivo-comportamental,

proporcionando, através do condicionamento operante, a saciação da estimulação que mantém o comportamento aditivo. Conhecem-se igualmente aplicações nas perturbações de pânico,²³ perturbações alimentares,²⁴ perturbações do espectro do autismo,²⁵ paralisia cerebral e síndrome de Down,²⁶ perturbação da imagem corporal,²⁷ doença de Parkinson,²⁸ entre outras. Vários trabalhos têm também sido publicados relativamente ao papel da RV na avaliação,²⁹ associados ao desenvolvimento de novos instrumentos de avaliação neuropsicológica ou à alteração de outros já existentes, de modos a torná-los mais ecológicos.³⁰

Presentemente, as soluções tecnológicas existentes (*head-mounted displays*, *eyeglasses*, entre outros) são cada vez mais diversas, acessíveis e de maior qualidade. Apesar disso, as aplicações científicas e clínicas da RV e o seu desenvolvimento implicam muito mais do que a disponibilidade da tecnologia. Do racional teórico subjacente ao desenho de métodos de investigação ou a programas de intervenção, aos estudos de validação da sua aplicabilidade, existe um longo percurso carente de sustentação empírica. Essa sustentação pode ser obtida por métodos diversos, como os que são próprios da neuropsicologia ou através de técnicas de neuroimagem funcional.³¹

Em suma, das áreas anteriormente enunciadas a reabilitação continua a ser um desafio para profissionais, pacientes e suas famílias. Procurando superar as limitações das intervenções tradicionais, a RV tem sido aplicada de forma crescente e começa a fornecer importantes ferramentas neste domínio. Apesar disso, a possibilidade de o fazer não é unânime e requer clarificação. Reflexo da sua juventude, dimensões nucleares, como a terminologia a utilizar e a sua definição, ou as (des)vantagens da RV são ainda pouco consensuais, sendo objeto de debate frequente e de posicionamentos distintos ou mesmo contraditórios. No sentido de averiguar a pertinência do uso da RV na reabilitação, e assim fornecer informação que contribua para esclarecer pontos deste debate, este estudo debruça-se sobre a análise das vantagens e limitações desta tecnologia, procurando responder à questão: Realidade Virtual e Reabilitação: Por que sim e por que não?

Com este fim, foi desenvolvido um modelo hierarquizado que procura descrever e sistematizar a natureza dos trabalhos revistos, as principais temáticas abordadas e as suas interligações. Neste artigo, o modelo será apresentado sucintamente e a análise circunscrita à temática do presente trabalho, acima enunciada.

MATERIAL E MÉTODOS

Este é um trabalho estrutural que integra um estudo mais abrangente, com o objetivo de caracterizar a RV, o estado do conhecimento atual da sua aplicação ao domínio da reabilitação, e identificar questões relevantes da investigação neste domínio.

Procedimento

Foi realizada uma revisão sistemática dos documentos

científicos indexados na base de dados *ISI Web of Knowledge*, desde o início até novembro de 2010, utilizando as palavras chave e a equação de pesquisa em linguagem Booleana: ('*virtual reality*' OR '*virtual environment*') AND '*rehabilitation*'. A escolha de termos nesta pesquisa deriva do conhecimento da literatura no domínio.

Foram identificados 963 artigos entre 1997 e novembro de 2010. Os critérios de exclusão foram áreas pouco relacionadas com a temática da pesquisa, como *operations research & management science; biochemistry & molecular biology; hematology; otorhinolaryngology; integrative & complementary medicine; microscopy; dermatology*, entre outras. Só foram considerados documentos redigidos em inglês e dos seguintes tipos: *abstracts, meeting* e *article review*. Depois da aplicação dos critérios de exclusão, obtivemos 288 documentos. Destes, foram excluídos 25, 22 por não apresentarem resumo e três por serem repetidos. Dos 263 documentos retidos, foram analisados os títulos e os resumos. Estes documentos foram exportados para o Endnote e os seus títulos e resumos novamente exportados para um projeto do NVivo.

Análise

A análise dos dados foi realizada por dois investigadores independentes e validada por um terceiro - juiz. O processo de análise de conteúdo com recurso ao NVivo foi conduzido em duas fases. A primeira foi de análise indutiva (sem categorias prévias) para identificar as categorias e subcategorias que melhor traduzem as temáticas expressas na literatura revista. Numa segunda fase, o modelo desenvolvido a partir da primeira fase foi aplicado à recodificação do material.

Assim, de modo detalhado, os dois investigadores realizaram codificação livre e construíram uma árvore hierarquizada com as (sub)categorias identificadas. O revisor 1 analisou a totalidade do material (263 títulos e resumos) e o revisor 2 analisou 100% do material até 2004 e 50% de cada um dos anos seguintes. As unidades de registo foram os temas (unidades de dimensões imprecisas mas que permitem perceber o contexto, conferindo maior significado à unidade de registo). A unidade de enumeração ou contagem foi o critério todas as vezes que a unidade (tema) aparece. Em resultado desta análise, os revisores construíram os seus modelos preliminares. Estes foram comparados, procurando-se consensos e pontos de dissonância. As alterações efetuadas consistiram, fundamentalmente, na uniformização da terminologia, na fusão de categorias secundárias e na reorganização de algumas ligações entre conceitos. O modelo final resultante deste acordo inter-revisores procura descrever o mais objetivamente possível a natureza e qualidade da informação analisada.

De modo a validar a codificação original, os dois revisores utilizaram o modelo desenvolvido para recodificar o material. A recodificação foi conduzida independentemente. Procurou-se, assim, testar a robustez e a validade interna da ferramenta previamente construída. O cálculo do acordo inter pares utilizou o *kappa* de Cohen (de 0,81), por ser

considerado uma medida mais robusta do que a simples percentagem de acordo. Para uma melhor compreensão das diversas fases de análise dos dados apresentamos a Fig. 1.

RESULTADOS

Artigos por ano e autores mais frequentes

Na Fig. 2 podemos observar que o número de publicações aumentou consideravelmente ao longo dos últimos anos, sendo a exceção mais significativa o ano de 2008.

O modelo desenvolvido identificou como categorias nucleares (de primeira e segunda ordem): Tipo de Artigo (Empírico, Teórico) e Tipo de Abordagem (Tecnologia Assistiva, Realidade Aumentada, Abordagens Tradicionais, Realidade Virtual). As várias categorias foram decompostas nas dimensões que mais emergiram da literatura, chegando, em alguns casos, a variáveis de sexto nível. Destas últimas, a RV foi decomposta de forma exaustiva (Definição, Características, Aplicações, Fatores Humanos implicados (e.g., Questões Éticas), Produtos, Profissionais envolvidos na sua utilização e Investigação Futura), nomeadamente em termos de Vantagens e Limitações, que constituem o âmbito deste trabalho e foram organizadas nas subcategorias a seguir identificadas.

Vantagens da RV surgiram relacionadas com:

a) A possibilidade de aplicação a uma diversidade de domínios (e.g., medicina, neuropsicologia).

'Virtual reality environments have many potential applications in medicine, including surgical training, tele-operated robotic surgery, assessment and rehabilitation of physical disabilities' (Lewis et al, 1997).

'(...) The review concludes that the use of VR in brain damage rehabilitation is expanding dramatically and will become an integral part of cognitive assessment and rehabilitation in the future' (Rose et al, 2005).

b) A possibilidade de aplicação a uma diversidade de funções cognitivas, comportamentos, doenças neurológicas e incapacidades físicas.

'Virtual reality environments have many potential applications in (...) assessment and rehabilitation of behavioural and neurological disorders and diagnosis, therapy and rehabilitation of physical disabilities' (Lewis et al, 1997).

'It is suggested that virtual reality can be used in MS patients to assess aspects of spatial memory that are not measured by traditional tests' (Pugnetti et al, 1998).

'The results of this preliminary study indicate that training in virtual environments may prove an effective method of teaching new information to patients with severe memory impairments' (Brooks et al, 1999).

'Enhanced feedback provided by a virtual reality system has been shown to promote motor learning in normal subjects' (Piron et al, 2005).

'Virtual reality (VR) possesses many qualities that give it rehabilitative potential for people with intellectual disabilities, both as an intervention and an assessment.' (Standen

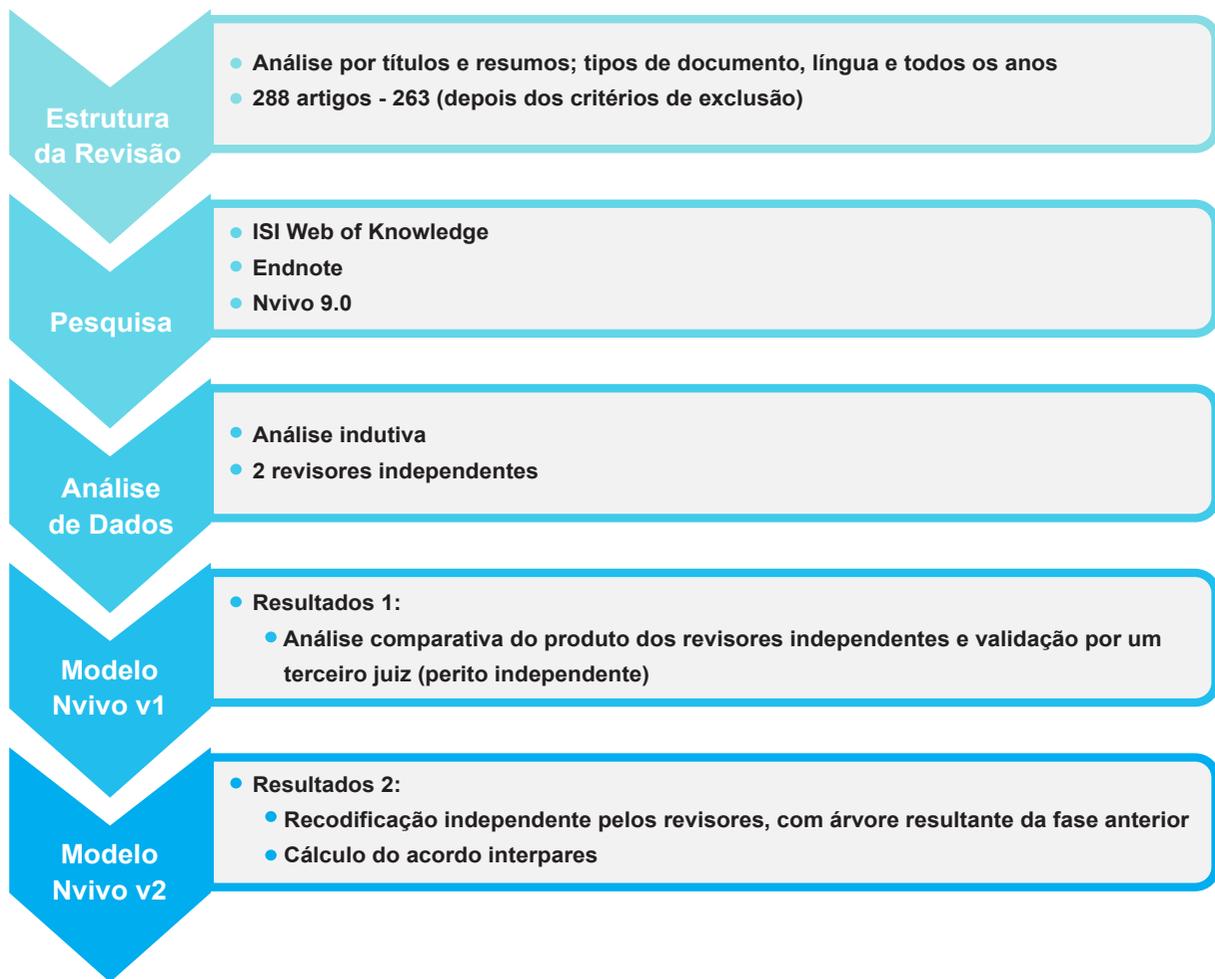


Fig. 1 – Fases de análise dos dados.

et al., 2005).

'Since the VRET scenario was shown to be a robust tool in the reduction of fear of falling, virtual reality technology is proposed as a promising platform for the development of such retraining applications' (Giotakos et al, 2007)

'Virtual reality systems have been used to deliver goal directed repetitive training to promote rehabilitation of individuals post-stroke' (Mirelman et al, 2007).

'Those results will support the use of virtual reality for situated neglect assessment and provide guidelines for rehabilitation trials in more ecologically-like contexts' (Morganti et al., 2007).

'Virtual reality (VR) has enormous potential as an adjunct in therapy. VR has many of the parameters shown to be effective in motor learning' (Guberek et al, 2008).

'Adults with intellectual disabilities (ID) and physical disabilities often experience limited opportunities to participate in leisure activities, virtual reality (VR) technologies may serve to broaden their repertoire of accessible leisure activities' (Yalon-Chamovitz et al, 2008).

'While rehabilitation approaches of the dysexecutive syndrome are still limited, Virtual Reality (VR) has shown

its potential to propose innovative intervention strategies based on ecologically valid functional tasks' (Klinger et al, 2009).

'To further promote generalization of gained abilities and to quantify functional improvements, this project aims at developing a Virtual Reality (VR) application that can be used for training and assessment of spatial orientation and navigation skills in brain-damaged patients' (Koeniget al, 2009).

'There is potential for the use of VR and game applications for rehabilitating, maintaining, and enhancing those processes that are affected by aging with and into disability, particularly the need to attain a balance in the interplay between sensorimotor function and cognitive demands and to reap the benefits of task-specific training and regular physical activity and exercise' (Lange et al, 2010).

'Thus, VR rehabilitation therapy can be effective in improving the physical dyskinesia caused by cerebrovascular disease and the daily living skill of the patient' (Ma et al, 2010).

'Virtual reality (VR) using immersion and interaction may provide new approaches to the treatment of memory deficits in elderly individuals' (Optale, 2010).

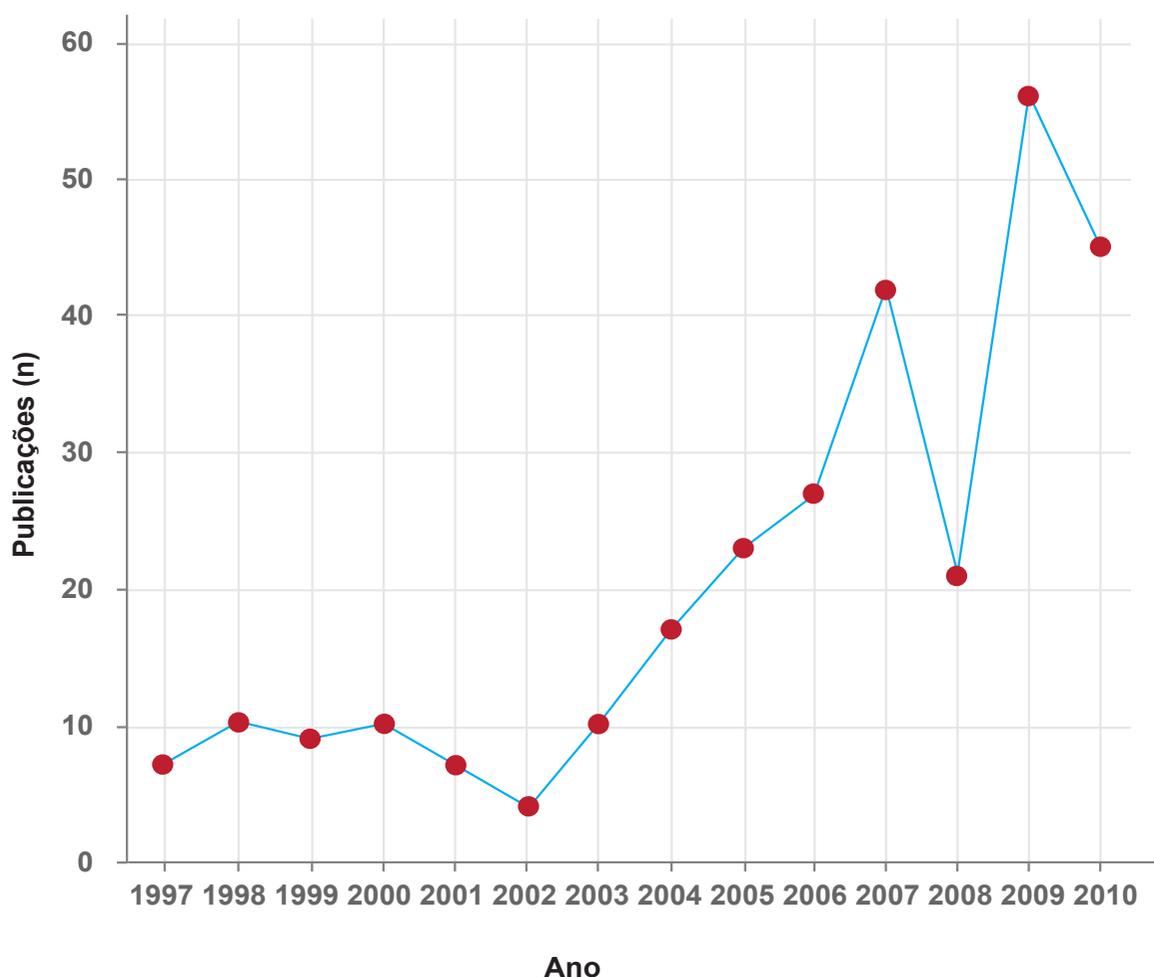


Fig. 2 – Número de publicações por ano até outubro de 2010.

c) As suas características: imersiva, interativa, realista, de feedback, tempo real, controlo de estímulos complexos, entre outras.

'The value of the technology of virtual environments in this context is that it allows us to immerse people with brain damage in relatively realistic interactive environments which (...)' (Rose et al, 1997)

'Virtual environments (VE's) let users navigate and interact with computer-generated three-dimensional (3-D) environments in real time, allowing for the control of complex stimuli presentation' (Riva et al, 1998).

'Due, in large part, to the significant advances in PC hardware that have been made over the last 3 years, PC-based virtual environments are approaching reality' (Riva et al, 1999).

'And Virtual Reality technology can hold a patient's attention for a longer period of time than other methods can, because VR is immersive, interactive and imaginal' (Cho et al, 2002).

'Enhanced feedback provided by a virtual reality system has been shown to promote motor learning in normal subjects' (Piron et al, 2005).

'It can provide a safe setting in which to practice skills that might carry too many risks in the real world. Unlike human tutors, computers are infinitely patient and consistent. (...) Virtual worlds can be manipulated in ways the real world cannot be and can convey concepts without the use of language or other symbol systems' (Standen et al., 2005).

'Virtual Reality (VR) with multimodal displays has the chance to feed back performance information to the patient, augment the training with additional audiovisual features, thus, making the therapy more exciting and increasing patient motivation' (Riener et al, 2006).

'Virtual reality offers the option to produce and distribute identical 'standard' simulation environments in which performance can be measured and rehabilitated' (Rizzo et al, 2006).

'Virtual reality (VR) provides a unique environment where the presentation of stimuli can be systematically controlled to enable an optimal level of challenge by progressing task difficulty as performance improves' (Stewart et al, 2006).

'Virtual reality (VR)-based techniques have the potential

to solve these difficulties, because they provide a computer-generated but realistic three-dimensional world and human-like avatars that can provide emotional stimuli' (Ku et al, 2007).

'Virtual reality systems have been used to deliver goal directed repetitive training to promote rehabilitation of individuals post-stroke' (Mirelman et al, 2007).

'For the second case, a neurofeedback (NFB) system was established, which utilized Virtual Reality (VR) to create appropriate feedback information which is more interesting, imaginative and interactive than traditional graphical presentations' (Wang et al, 2007).

'Those results will support the use of virtual reality for situated neglect assessment and provide guidelines for rehabilitation trials in more ecologically-like contexts' (Morganti et al, 2007).

'Virtual reality (VR) facilitates learning in a safe environment enabling a gradual increase in the complexity of tasks approaching the conditions of real life' (Josman et al, 2008).

'Our VR-based intervention addresses this issue, by providing a high ecological validity therapeutic tool' (Anton et al., 2009).

d) Consequências das características.

'The value of the technology of virtual environments in this context is that it allows us to immerse people with brain damage in relatively realistic interactive environments which, because of their patterns of impairment, would otherwise be unavailable to them' (Rose et al, 1997).

'Within such digital scenarios, normative data can be accumulated for performance comparisons needed for assessment/diagnosis and for treatment/rehabilitation purposes' (Rizzo et al, 2006).

'Moreover, the use of VR-based scenarios in which patients perform rehabilitation exercises dramatically increases the patients' motivation and thus the final therapy outcome' (Montagner et al, 2007).

'It induces brain plasticity and benefits may be transferable to the physical world' (Guberek et al, 2008).

'Virtual reality (VR) constitutes a promising alternative of approximation to real life that may help increase the level of generalization of skills developed in programs that use this kind of technology' (Dores et al, 2009).

e) Superar limitações dos testes/intervenções tradicionais

'It is suggested that virtual reality can be used in MS patients to assess aspects of spatial memory that are not measured by traditional tests' (Pugnetti et al, 1998).

'And Virtual Reality technology can hold a patient's attention for a longer period of time than other methods can, because VR is immersive, interactive and imaginal' (Cho et al, 2002).

'Virtual reality (VR) has the potential to assist current rehabilitation techniques in addressing the impairments, disabilities, and handicaps associated with brain damage' (Rose et al, 2005).

'Virtual reality-based evaluation will also provide evi-

dences of neglect induced biases in coping with everyday contexts that could be unclear detectable in paper and pencil assessment' (Morganti et al, 2007).

Limitações da RV surgiram relacionadas com:

a) Os efeitos secundários.

'Although there is much potential for the use of immersive virtual reality environments in clinical applications, there are problems which could limit their ultimate usability. Some users have experienced side-effects during and after exposure to virtual reality environments. The symptoms include ocular problems, disorientation and balance disturbances, and nausea.' (Lewis et al, 1997)

'Issues addressed in this project include: the occurrence of VE-related side effects in healthy older adults' (McGee et al, 2000).

'For expanding application of virtual reality, such as rehabilitation engineering, concerns of cybersickness should be cleared' (Kiryu et al, 2005).

b) As causas das limitações.

'Susceptibility to side-effects can be affected by age, ethnicity, experience, gender and physical fitness, as well as the characteristics of the display, the virtual environment and the tasks. The characteristics of the virtual reality system have also been shown to affect the ability of users to perform tasks in a virtual environment. Many of these effects can be attributed to delays between the sampling of head and limb positions and the presentation of an appropriate image on the display' (Lewis et al, 1997).

'Although virtual simulation offers a range of new possibilities, learning to navigate in a virtual environment is not equivalent to learning to navigate in the real world' (Cooper et al, 2005).

'(...) has been successfully applied in various fields such as engineering, medicine, training, and high-quality 3D games, but few VR therapy systems currently support physics' (Ma et al, 2006).

'However, there are some concerns over whether people with ASDs can understand, use and interpret the technology appropriately' (Parsons et al, 2006).

'Many tasks have been developed in VEs, but few have shown effective transfer of training' (Pridmore et al, 2007). 'However, there is little evidence of the effectiveness of training in a virtual environment (VIE) compared to training in a real-world physical environment (PE) regarding the improvement in upper limb impairment and functional levels post-stroke' (Subramanian et al, 2007).

'The adoption of Virtual Reality in rehabilitation of cognitive and psychological disorders is limited by high costs of software development, lack of technical expertise among end-users, and the difficulty of adapting the contents of the virtual environments (VEs)' (Riva et al, 2007).

'People with brain injury may be less tolerant to a poor interface and a VE might therefore become unusable due to, for example, an unsuitable input device' (Wallergard et al, 2007).

'It is concluded that difficulties in adapting programs to specific clinical needs, technical issues, and the reluctance of many clinicians to use computer-based technology need to be overcome before VR is likely to be widely used to measure PM' (Knight et al, 2009).

'A limiting factor in the innovation and the acceptance of virtual environments with haptic feedback is the time and cost required to build them' (Zhu et al, 2009)

'(...) we can establish that it is not sufficient the acquisition and use of high technology in the assessment/treatment of patients with disabilities' (Villanueva et al, 2009).

'Results show differences in VR spatial brain processing as compared to known brain activations in reality. Identifying differences and commonalities of brain processing in VR reveals limitations and holds important implications for VR therapy and training tools. (...) When VR therapy aims at the rehabilitation of brain function and activity, differences in brain processing have to be taken into account for designing effective VR training tools' (Beck et al, 2010).

'Published clinical studies evaluating its acceptance, potential benefits and side-effects in the rehabilitation of patients with post-stroke weakness are few in number' (Joo et al, 2010).

'The type of virtual objects used for reaching tasks varies widely, but there has been little work exploring the effect of different characteristics of objects on target acquisition time' (Powell et al, 2010).

'Although existing evidence suggests that increasing intensity of stroke rehabilitation therapy results in better motor recovery, limited evidence is available on the efficacy of virtual reality for stroke rehabilitation' (Saposnik et al, 2010). 'However, the current level of evidence is poor and empirical data is lacking. Future methodologically rigorous studies are required' (Snider et al, 2010).

c) Precauções.

'Special precautions therefore need to be taken to ensure the safety and effectiveness of such virtual reality applications. These precautions include minimisation of possible side-effects at the design stage. Factors are identified which are likely to affect the incidence of side-effects during and after exposures, and which need to be understood in order to minimise undesirable consequences. There is also a need for the establishment of protocols for monitoring and controlling exposures of patients to virtual reality environments. Issues are identified which need to be included in such protocols' (Lewis et al, 1997).

'However, basic feasibility issues need to be addressed for this technology to be reasonably and efficiently applied to the cognitive rehabilitation (CR) of persons with acquired brain injury and neurological disorders' (Rizzo, Buckwalter, Neumann, 1997).

'(...) we can establish that it is not sufficient the acquisition and use of high technology in the assessment/treatment of patients with disabilities, but it is necessary to know the scope and limitations of each system, learn to using the technology, covering the period of the learning curve and

become the data from this technology in useful information for clinical application' (Villanueva et al, 2009).

DISCUSSÃO

O crescente número de publicações nesta área (Fig. 2) evidencia o interesse atual pela RV e a sua pertinência como área de investigação. Da literatura revista resultou um melhor recorte conceptual acerca desta tecnologia e do seu contributo em diversos domínios, bem como um conhecimento mais pormenorizado das suas principais limitações. Entre elas, a necessidade de: (1) superar dificuldades associadas aos custos e tempo de desenvolvimento; (2) conhecer os fatores que contribuem para os efeitos secundários e minimizá-los; (3) adaptar ou desenhar ambientes que considerem as especificidades das patologias; (4) melhorar a metodologia dos estudos de análise dos impactos. No que concerne aos aspetos metodológicos, revelam-se necessários: (1) estudos com amostras maiores; (2) a introdução de grupo de controlo; (3) maior uniformização nos testes aplicados na avaliação de determinadas variáveis; e, ainda, (4) estudos de *follow-up*. Estas dimensões facilitarão a comparação interestudos e a generalização de resultados, permitindo dados com maior validade e fidelidade acerca da utilização da RV numa diversidade de quadros de diagnóstico. No lado das vantagens, é de salientar: (1) a possibilidade de aplicação a uma diversidade de domínios, de funções cognitivas, comportamentos, doenças neurológicas e incapacidades físicas, (2) as características inovadoras da RV que permite ultrapassar limitações das intervenções tradicionais. É ainda reconhecido o enorme potencial desta tecnologia, assistindo-se a um esforço crescente de validar a sua utilização na reabilitação em geral e em particular na reabilitação (neuro)cognitiva.

É de ressaltar a existência prévia de estudos de revisão da literatura acerca das aplicações da RV.¹⁸ Contudo, esses estudos exploram apenas áreas específicas da sua aplicação. Neste trabalho, a metodologia estrutural utilizada é nova nesta área e além de atual, considera a aplicação da RV à reabilitação de um modo global. Caracterizar esta realidade, nas suas vantagens e limitações, foi o principal objetivo deste trabalho, que procurou dar resposta acerca da utilização da RV àqueles que exercem clínica ou investigam neste domínio, através de informação mais sistematizada.

CONCLUSÕES

Em resposta à questão por nós colocada, este estudo evidencia mais trabalhos e razões para a utilização da RV do que o contrário. O facto de serem identificadas limitações da RV, passado o entusiasmo excessivo veiculado pelos *media*, e de diversos autores e grupos de investigação procurarem ultrapassar tais limitações, reforça ainda mais a vantagem da utilização desta tecnologia na reabilitação em diversos domínios, bem como a importância da investigação continuada nesta área, no sentido de melhorar a aplicação desta ferramenta.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não existir qualquer conflito de interesses relativamente ao presente artigo.

FONTES DE FINANCIAMENTO

Este trabalho faz parte de um projeto de investigação

REFERÊNCIAS

- Bouchlaghem NM, Thorpe A, Liyanage IG. Virtual reality application in the UK's construction industry. In: Turk Z, editor. Construction on the information highway. Bled: CIH;1996.p.89-94.
- Littman MK. Alternative meanings through the world of virtual reality. In: Vandergriff K, editor. Mosaics of meaning: enhancing the intellectual life of young adults through story. Lanham: Scarecrow Press;1996.p.425-55.
- Pimentel K, Teixeira K. Virtual reality: Through the new looking glass. Windcrest: McGraw-Hill; 1993.
- Burdea G, Coiffet P. Virtual reality technology. New York: John Wiley & Sons;1994.
- Gigante MA. Virtual reality: definitions, history and applications. In: Earnshaw RA, Gigante MA, Jones H, editors. Virtual reality systems. London: Academic Press;1993.p.3-14.
- Mazuryk T, Gervautz M. Virtual reality: history, applications, technology and future. Technical Report. TR-186-2-96-06. Vienna:Institute of Computer Graphics, Technical University of Vienna; 1996.
- Slater M, Perez-Marcos D, Ehrsson HH, Sanchez-Vives MV. Inducing illusory ownership of a virtual body. *Front Neurosci.* 2009;3:214-20.
- Coelho C, Santos J, Silvério J, Silva C. Virtual reality and acrophobia: one year follow up and case study. *Cyberpsychol Behav.* 2006;9:336-41.
- Novak D, Zihel J, Olensek A, Milavec M, Podobnik J, Mihelj M, et al. Psychophysiological responses to robotic rehabilitation tasks in stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2010;18:351-61.
- Wiederhold BK, Rizzo A. Virtual reality and applied psychophysiology. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2005;30:183-5.
- Lewis CH, Griffin MJ. Human factors consideration in clinical applications of virtual reality. *Stud Health Technol Inform.* 1997;44:35-56.
- Riva G. Virtual environments in neuroscience. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 1998;2:275-81.
- Piron L, Turolla A, Agostini M, Zucconi C, Cortese F, Zampolini M, et al. Exercises for paretic upper limb after stroke: a combined virtual-reality and telemedicine approach. *J Rehabil Med.* 2009;41:1016-20.
- Walker ML, Ringleb SI, Maihafer GC, Walker R, Crouch JR, Van Lunen B, et al. Virtual reality-enhanced partial body weight-supported treadmill training poststroke: feasibility and effectiveness in 6 subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91:115-22.
- Montesano L, Diaz M, Bhaskar S, Minguez J. Towards an intelligent wheelchair system for users with cerebral palsy. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2010;18:193-202.
- Cernich AN, Kurtz SM, Mordecai KL, Ryan PB. Cognitive rehabilitation in traumatic brain injury. *Curr Treat Options Neurol.* 2010;12:412-23.
- Christiansen C, Abreu B, Ottenbacher K, Huffman K, Masel B, Culpepper R. Task performance in virtual environments used for cognitive rehabilitation after traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79:888-92.
- Rose FD, Brooks BM, Rizzo AA. Virtual reality in brain damage rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav.* 2005;8:241-62.
- Brooks BM, Rose FD, Potter J, Jayawardena S, Morling A. Assessing stroke patients' prospective memory using virtual reality. *Brain Inj.* 2004;18:391-401.
- Cardenas G, Munoz S, Gonzalez M, Uribarren G. Virtual reality applications to agoraphobia: a protocol. *Cyberpsychol Behav.* 2006;9:248-50.
- Bordnick PS, Traylor AC, Graap KM, Copp HL, Brooks J. Virtual reality cue reactivity assessment: a case study in a teen smoker. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2005;30:187-93.
- Saladin ME, Brady KT, Graap K, Rothbaum BO. A preliminary report on the use of virtual reality technology to elicit craving and cue reactivity in cocaine dependent individuals. *Addict Behav.* 2006;31:1881-94.
- Botella C, García-Palacios A, Villa H, Baños RM, Quero S, Alcañiz M, et al. Virtual reality exposure in the treatment of panic disorder and agoraphobia: a controlled study. *Clin Psychol Psychother.* 2007;14:164-75.
- Riva G. The key to unlocking the virtual body: virtual reality in the treatment of obesity and eating disorders. *J Diabetes Sci Technol.* 2011; 5:283-92.
- Wang CY, Hwang WJ, Fang JJ, Sheu CF, Leong IF, Ma HI. Comparison of virtual reality versus physical reality on movement characteristics of persons with parkinson's disease: effects of moving targets. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011;92:1238-45.
- Wuang YP, Chiang CS, Su CY, Wang CC. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in children with Down syndrome. *Res Dev Disabil.* 2011;32:312-21.
- Riva G, Bacchetta M, Baruffi M, Molinari E. Virtual reality-based multidimensional therapy for the treatment of body image disturbances in obesity: a controlled study. *Cyberpsychol Behav.* 2001;4:511-26.
- Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marie RM. Virtual action planning in Parkinson's disease: a control study. *Cyberpsychol Behav.* 2006;9:342-7.
- Penn P, Brooks B, Rose D. Virtual reality in memory assessment and rehabilitation: progress to date and future potential. *Cyberpsychol Behav.* 2005;8:347-8.
- Pugnetti L, Mendozzi L, Brooks BM, Attree EA, Barbieri E, Alpini D, et al. Active versus passive exploration of virtual environments modulates spatial memory in MS patients: a yoked control study. *Ital J Neurol Sci.* 1998;19:S424-S30.
- Adamovich SV, August K, Merians A, Tunik E. A virtual reality-based system integrated with fmri to study neural mechanisms of action observation-execution: a proof of concept study. *Restor Neurol Neurosci.* 2009;27:209-23.