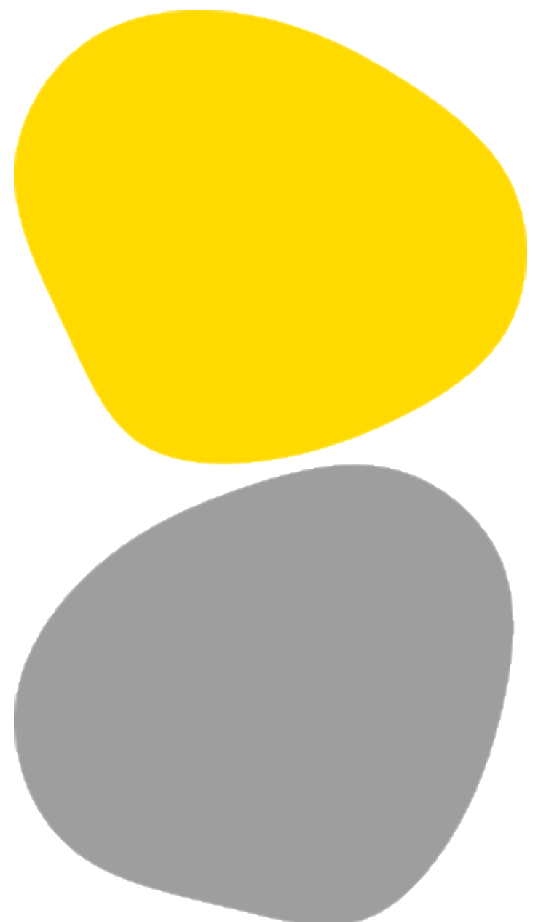




Impacto da Estimulação Transcraniana por Corrente Elétrica Contínua (tDCS) Combinada com Robô Colaborativo em Acidente Vascular Cerebral (AVC) Crónico – Estudo de caso.

Henrique Santos

09/2025





ESCOLA
SUPERIOR
DE SAÚDE



Laeta
laboratório associado

Impacto da Estimulação Transcraniana por Corrente Elétrica Contínua (tDCS) Combinada com Robô Colaborativo em Acidente Vascular Cerebral (AVC) Crônico.

Autor

Henrique Antas dos Santos

Orientador(es)

PhD, Carlos Campos, ULusófona/E2S

PhD, Helena Sousa, E2S

PhD, Paula Portugal, E2S

PhD, Paulo Abreu, FEUP

PhD, Teresa Restivo, FEUP

Dissertação para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Terapia Ocupacional – Ramo em Reabilitação Física pela Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto.



Agradecimentos

Desde o momento em que foi discutida a ideia para esta dissertação até ao momento da sua entrega, contei com o apoio de múltiplas pessoas e instituições que tornaram esta realização mais fácil e, acima de tudo, possível.

Estou eternamente grato pela vossa colaboração, direta ou indireta.

À Professora Doutora Helena Sousa pelo momento em que cheguei ao seu gabinete e me perguntou o que me estava a perturbar. Respondi que não estava motivado para fazer uma dissertação sobre algo que não fosse o tema do presente estudo e a verdade é que em apenas um dia consegui a aprovação da ideia juntamente com a Professora Doutora Teresa Restivo e Professor Doutor Paulo Duarte. Eternamente grato por todo o apoio e disponibilidade mostrada na realização do estudo. Um enorme obrigado.

Ao Professor Doutor Carlos Campos por todo o apoio dado na área da tDCS e na estrutura do trabalho. Pelo aconselhamento e atenção incansável que contribuiu para a clareza desta investigação. Pelo conhecimento transmitido nesta área. Obrigado pelas três orientações que me foi dando ao longo do meu percurso académico, em especial a esta. Um enorme obrigado.

À Professora Doutora Paula Portugal pela sua experiência e conhecimento na área dos métodos de recolha de dados e pela interpretação da perceção da pessoa. Esse seu lado humano que mais ninguém o tem, refletiu-se e foi uma mais-valia para a estruturação do método e discussão dos resultados. Um enorme obrigado.

À Professora Doutora Teresa Restivo e Professor Doutor Paulo Duarte deixo um especial agradecimento pelo conhecimento transmitido sobre uma área nova para mim, mas que certamente passa a ser uma área de interesse para estudos futuros. Agradeço pela forma como receberam esta ideia e pela proatividade em avançar com o estudo. Para além disso, pela amabilidade com que trataram a utente durante uma fase de puro desconhecimento e de muita incerteza por parte da mesma. Por fim, agradecer pela vossa prontidão nas respostas e pelo feedback pontual dado ao longo de todo o trabalho. Um enorme obrigado.



À utente por se ter aventurado nesta ideia e por toda a confiança que depositou em mim. Foi sem dúvida um dos aspetos mais importantes para continuar motivado e envolvido neste trabalho. Um enorme e especial obrigado.

Por fim, agradecer a quem participou neste estudo, mas de forma indireta. Estendo os meus agradecimentos:

Aos meus pais, irmão, avós, padrinho, madrinha, afilhado e amigos por serem um apoio físico e emocional nesta jornada, mesmo sem saberem que o são. Um enorme obrigado por tudo!

Ao meu Avô Alberto que deixou de estar presente ao longo desta etapa, mas que sempre me incentivou a ser o melhor académico possível. Acredito que este marco seja um motivo de alegria para ti. Nunca tive oportunidade de te agradecer por todo o suporte que me deste ao longo do meu percurso académico. Um enorme obrigado, Avô!



Resumo

Introdução: O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é uma das principais causas de incapacidade na população adulta, sendo frequente estar associado a défices motores e cognitivos. A Estimulação Transcraniana por Corrente Elétrica (tDCS) tem sido alvo de estudos em indivíduos com AVC pelo seu efeito neuroplástico nas zonas corticais afetadas quando combinada com abordagens terapêuticas, como por exemplo a terapia assistida por robôs.

Objetivo: O objetivo deste estudo é verificar o efeito da tDCS combinada com a terapia assistida por robô na funcionalidade do membro superior de uma paciente com AVC crónico.

Metodologia: Neste estudo, foi aplicado um protocolo de 10 sessões de Dual-tDCS (1mA, 20 minutos, nas regiões C3/C4 – sistema de posicionamento 10–20). A avaliação foi constituída por medidas quantitativas: Box and Block's Test (BBT), dinamometria e goniometria do membro superior afetado, *Psychomotor Vigilance Test* (PVT), *Fatigue Assessment Scale* (FAS)) e métodos de recolha de dados qualitativos (entrevista semiestruturada). A avaliação foi realizada em 4 momentos: pré intervenção, durante a intervenção, pós intervenção e *follow up* de 1 mês.

Resultados: Nas medidas quantitativas e qualitativas verificaram-se resultados positivos. No BBT verificou-se um aumento de destreza manual (41,5 para 53 blocos), aumento da amplitude de flexão da glenomer al (116º para 132º), aumento da força de preensão (10,8 kg para 15,8 kg), diminuição no tempo de reação do PVT e diminuição dos valores de fadiga pela escala FAS (24 para 18). Na entrevista a utente afirmou maior participação nas atividades do dia-a-dia, com menor perceção de fadiga.

Conclusão: A combinação da tDCS com a terapia assistida por robô num utente com AVC crónico demonstrou efeitos positivos na funcionalidade do membro superior, podendo ser uma abordagem complementar à intervenção da Terapia Ocupacional. Estudos futuros devem conter uma amostra maior e protocolos uniformizados para confirmar o efeito desta abordagem em diferentes indivíduos.

Palavras-chave: Acidente Vascular Cerebral; tDCS; Robô; Terapia Ocupacional



Abstract

Introduction: Stroke is one of the leading causes of disability in the adult population and is often associated with motor and cognitive deficits. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) has been the subject of studies in individuals with stroke due to its neuroplastic effect on affected cortical areas when combined with therapeutic approaches such as robot-assisted therapy.

Objective: The aim of this study is to verify the effect of tDCS combined with robot-assisted therapy on upper limb functionality in a patient with chronic stroke.

Methodology: In this study, a protocol of 10 sessions of Dual-tDCS (1mA, 20 minutes, in regions C3/C4 – 10–20 positioning system) was applied. The assessment consisted of quantitative measures: Box and Block's Test (BBT), dynamometry and goniometry of the affected upper limb, Psychomotor Vigilance Test (PVT), Fatigue Assessment Scale (FAS) and qualitative data collection methods (semi-structured interview). The assessment was carried out at four stages: pre-intervention, during intervention, post-intervention, and one-month follow-up.

Results: Positive results were found in both quantitative and qualitative measurements. The BBT showed an increase in manual dexterity (41.5 to 53 blocks), an increase in glenohumeral flexion range (116° to 132°), an increase in grip strength (10.8 kg to 15.8 kg), a decrease in PVT reaction time and a decrease in fatigue values on the FAS scale (24 to 18). In the interview, the patient reported greater participation in daily activities, with less perceived fatigue.

Conclusion: The combination of tDCS with robot-assisted therapy in a patient with chronic stroke demonstrated positive effects on upper limb functionality and may be a complementary approach to occupational therapy intervention. Future studies should include a larger sample size and standardised protocols to confirm the effect of this approach in different individuals.

Keywords: Stroke; tDCS; Robot; Occupational Therapy



Índice

| | |
|--|----|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. Contextualização..... | 1 |
| 2.1. Acidente Vascular Cerebral (AVC) | 1 |
| 2.2. Sistemas robóticos no suporte à reabilitação motora..... | 4 |
| 2.3. Estimulação Transcraniana por corrente elétrica (tDCS) | 6 |
| 2.3.1. Introdução..... | 6 |
| 2.3.2. Mecanismos Neurobiológicos..... | 7 |
| 2.3.3. Parâmetros de estimulação..... | 8 |
| 2.3.4. tDCS e AVC | 10 |
| 2.4. tDCS e Tecnologia Robótica Aplicadas à Recuperação Pós AVC..... | 11 |
| 2.5. Objetivos..... | 13 |
| 3. Metodologia..... | 15 |
| 3.1. Informação do utente e dados clínicos..... | 15 |
| 3.2. Avaliação Diagnóstica..... | 16 |
| 3.3. <i>Timeline</i> Clínica..... | 17 |
| 3.4. Intervenções terapêuticas | 18 |
| 4. Resultados..... | 22 |
| 4.1. <i>Outcomes e follow-up</i> | 22 |
| 4.2. Perspetiva da utente..... | 28 |
| 5. Discussão..... | 34 |
| Limitações | 38 |
| Estudos futuros..... | 39 |
| 6. Conclusão..... | 39 |
| Ética e Consentimento Informado..... | 41 |
| 7. Referências bibliográficas | 42 |



1. Introdução

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é uma das principais causas de incapacidade motora adquirida em adultos, frequentemente resultando em défices significativos da função do membro superior. Além disso, também está associado a sintomas cognitivos, perceptivos, sensoriais e emocionais. Apesar dos avanços na reabilitação, muitos sobreviventes de AVC mantêm limitações funcionais persistentes, que afetam a sua autonomia e qualidade de vida. Neste contexto, estratégias inovadoras que combinem abordagens tradicionais com tecnologias emergentes têm despertado interesse crescente.

A Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (tDCS) destaca-se como uma técnica de neuromodulação não invasiva capaz de modular a excitabilidade cortical. A modalidade dual tDCS – que combina estimulação anódica sobre o hemisfério ipsilesional e catódica sobre o hemisfério contralesional – tem sido explorada como forma de reequilibrar a atividade inter-hemisférica, frequentemente desregulada após o AVC. Esta abordagem visa potenciar a neuroplasticidade, facilitando a reorganização funcional necessária para a recuperação motora.

Por outro lado, a terapia assistida pelo robô colaborativo oferece uma reabilitação motora intensiva, repetitiva e controlada, fatores reconhecidos como importantes para a promoção da aprendizagem motora. A combinação do dual tDCS com o treino robótico surge assim como uma intervenção multimodal promissora, com o objetivo de potenciar sinergicamente a funcionalidade em indivíduos com AVC crónico.

2. Contextualização

2.1. Acidente Vascular Cerebral (AVC)

O Acidente Vascular Encefálico (AVC) é descrito pela *World Health Organization* (2025) como um síndrome clínico com origem vascular, que leva ao desenvolvimento de alterações focais ou globais da funcionalidade do cérebro, com duração superior a 24 horas ou leva à morte *World Health Organization* (2025). Atualmente, a *American Stroke Association* (2025) acrescenta à definição que existem também alterações funcionais do cérebro que se resolvem nas primeiras 24 horas, surgindo o termo de Acidente Isquémico Transitório (AIT).

De acordo com o *Global Burden of Disease 2021* cerca de 12 milhões de pessoas sofreram pelo menos um AVC, das quais resultaram 7 milhões de mortes e aproximadamente 94 milhões de pessoas



vivem atualmente com consequências do AVC (Feigin et al., 2024). Para além disso, prevê-se que 1 em cada 4 pessoas com mais de 25 anos vão sofrer um AVC. Em Portugal, no ano de 2021, cerca de 18000 pessoas sofreram um AVC, das quais 14000 faleceram como causa associada. Atualmente em Portugal, 204000 pessoas vivem com sequelas do AVC (Feigin et al., 2024).

Os fatores de risco do AVC podem ser classificados como modificáveis e os não modificáveis. Os fatores de risco modificáveis têm uma influência de 90% dos AVC's ocorridos e estes incluem hipertensão arterial (HTA), diabetes *mellitus*, patologia cardíaca (fibrilação atrial primária), dislipidemia, consumo tabágico e de álcool, obesidade, inatividade física, dieta pouco saudável, estenose carótida assintomática e AIT's prévios (Feigin et al., 2025; Martin et al., 2025). Além disso, os fatores ambientais, tais como exposição à poluição do ar, água e solo, agressores biológicos (COVID 19) têm contribuído para um aumento de casos de AVC (Feigin et al., 2025; Ranta et al., 2023).

O AVC pode ser isquémico ou hemorrágico. A isquemia é descrita como a falta de aporte de sangue ao cérebro, causando disfunção e morte de tecido cerebral (enfarte). Este tipo de AVC ocorre quando há oclusão de grandes artérias, cardioembolismos, oclusão de vasos pequenos e outras etiologias (Ho & Powers, 2025; Zhang et al., 2025). A hemorragia intracerebral ou subaracnoide é a causa do outro tipo de AVC que normalmente é causado por aneurismas ou malformações arteriovenosas (Kalailingam et al., 2025).

Por outro lado, os fatores de risco não modificáveis ou marcadores de risco apresentam uma influência reduzida na ocorrência do AVC e incluem a idade, género, raça/etnicidade e fatores hereditários (Grotta et al., 2021). Uma revisão sistemática sobre o estudo do papel da hereditariedade no AVC concluiu que gémeos monozigóticos tinham 65% maior probabilidade de ambos sofrerem um AVC comparativamente com gémeos dizigóticos (Flossmann et al., 2004; Grotta et al., 2021). Por outro lado, há estudos que revelam que histórico familiar de acidentes vasculares cerebrales aumenta o risco de AVC em 76%, especialmente em indivíduos com menos de 70 anos (Beghi et al., 1989). Outros estudos indicam que as estimativas de hereditariedade com uso de dados genéticos afirmam que 42% das pessoas podem sofrer AVC isquémico com menos de 55 anos e 44% podem sofrer AVC hemorrágicos (Blucher et al., 2015; Devan et al., 2013). A identificação genética apresenta um impacto significativo na prevenção do AVC, bem como acesso à educação e saúde.

Bamford (1991), descreveu uma classificação para o acidente vascular cerebral com base nas manifestações clínicas e sintomas experienciados pelos utentes de forma a ajudar os profissionais de saúde a orientarem o plano de intervenção (Bamford et al., 1991; Edmans, 2017). Desta forma, a escala de Bamford ou escala de Oxford surge com 4 classificações: Enfarte Total da Circulação Anterior (TACI),



Enfarte Parcial da Circulação Anterior (PACI), Enfarte da Circulação Posterior (POCI) e Enfarte Lacunar (LACI) (Bamford et al., 1991).

O primeiro é caracterizado por défices motores e sensitivos afetando mais de 2/3 da face, membro superior e inferior, hemianopsia e perturbações corticais superiores; o Enfarte Parcial da Circulação Anterior caracteriza-se pela presença de dois sintomas do Enfarte Total da Circulação Anterior ou perturbação cortical superior isolada ou disfunção motora e sensorial de um membro ou só da face; o Enfarte da Circulação Posterior representa qualquer paralisia do nervo cranial e défice motor/sensorial contralateral, défice motor/sensorial bilateral, paralisia do olhar conjugado, disfunção cerebelar e hemianopsia homónima isolada. Por fim, o Enfarte Lacunar representa a afetação puramente motora ou puramente sensitiva ou hemiparesia atáxica em mais de 2/3 da face ou membros superiores e inferiores (Bamford et al., 1991).

O AVC pode originar manifestações clínicas em diferentes domínios, dependendo da extensão e localização do dano cerebral. Os domínios constituem os défices motores que são uma das manifestações mais recorrentes, podendo incluir hemiplegia, hemiparesia, alteração do tónus muscular e perturbações do movimento e postura (p.ex. tremor, rigidez, coreia, distonia, entre outras). Associado aos défices motores podem surgir défices visuais perceptivos e sensoriais, tais como heminegligência, hemianopsia, agnosias e também défices cognitivos que são constituídos pelo défice na atenção dirigida e sustentada, memória, linguagem e funções executivas (Edmans, 2017; Grotta et al., 2021). O AVC aparece maioritariamente com manifestações de domínios diferentes, sendo que cerca de 55% a 75% de pessoas que sofrem AVC apresentam défices sensoriomotores e 60% apresentam défices cognitivos (El Hussein et al., 2023; Rajda et al., 2025). A recuperação motora está dependente dos processos de aprendizagem motora influenciados pelo domínios cognitivos e sensoriomotores do indivíduo (D'Imperio et al., 2021).

Dada a diversidade e complexidade das manifestações decorrentes do AVC, torna-se necessária uma intervenção abrangente e individualizada, onde a Terapia Ocupacional assume um papel fundamental (Edmans, 2017; Legg et al., 2017).

A Terapia Ocupacional tem como papel delinear um plano interventivo com base na identidade ocupacional, o seu desempenho ocupacional, as ambições e papéis do paciente para o pós AVC. Desta forma, o terapeuta ocupacional utiliza diferentes abordagens, tais como abordagens compensatórias e adaptativas, abordagens cognitivas e abordagens de movimento. Para além disso, podem e devem ser usadas outros tipos de abordagens neuromotoras, tais como *Bobath* (Pathak et al., 2021), *Proprioceptive neuromuscular facilitation* (PNF) (Cabrera-Martos et al., 2020), *Rood* (Schriner et al., 2014), *Constraint-*



induced movement therapy (Garrido M et al., 2023a), Treino isocinético (Park et al., 2021), terapia de espelho (Nogueira et al., 2021), Estimulação elétrica funcional (Eraifej et al., 2017) e, ultimamente, têm-se desenvolvido protocolos com equipamentos robóticos para exercícios personalizados envolvendo a promoção de competências motoras e perceptivas (Chien et al., 2020).

Assim, para além do tratamento convencional realizado ao paciente com AVC, têm sido investigados e aplicados novos protocolos complementares de intervenção com uso a novas tecnologias, de modo a maximizar a resposta e o potencial de recuperação do utente (Chien et al., 2020).

2.2. Sistemas robóticos no suporte à reabilitação motora

A reabilitação com uso a robô em AVC's começou em 1989, primeiramente com enfoque na reabilitação do ombro e ou cotovelo (Wilson & Raghavan, 2018). Nas últimas 3 décadas, esta abordagem tem sido cada vez mais implementada na prática clínica por duas razões principais (Wilson & Raghavan, 2018). A primeira é a evidência desta intervenção que tem sido alvo de cada vez mais estudos e de resultados clínicos benéficos segundo a teoria do movimento no AVC e, por último a redução de custos nos serviços de reabilitação (Cano de la Cuerda & Collado Vázquez, 2012; Wilson & Raghavan, 2018). Os robôs são dispositivos que podem aumentar o número de sessões de reabilitação prestadas sem haver contratação de novos profissionais de saúde (Cano de la Cuerda & Collado Vázquez, 2012; Gillen, 2016; Wilson & Raghavan, 2018).

O robô é capaz de detetar alterações de movimento e de forças provenientes do utente, é capaz de identificar a velocidade e precisão do movimento através da recolha de dados cinéticos e apresenta memória que permite a execução de movimentos repetitivos sem alterações no padrão de movimento ao longo do plano interventivo (Pignolo, 2009; Wilson & Raghavan, 2018). Para além disso, os robôs funcionam como fatores motivacionais extrínsecos, sendo capazes de induzir feedback no movimento realizado, aumentando a motivação do utente para usar o dispositivo e conseqüentemente, permitir aumentar a adesão ao plano terapêutico (Malik et al., 2022; Wilson & Raghavan, 2018).

Por outro lado, o profissional de saúde apresenta características importantes para a intervenção que o robô não consegue aplicar no utente, como por exemplo competências cognitivas que permitem alterar a tarefa de acordo com sinais de fadiga ou dor do utente, maior diversidade de movimentos durante a intervenção e maior precisão em atividades sensoriomotoras (Pignolo, 2009).

Atualmente, a reabilitação do membro superior após lesão neurológica é um dos maiores desafios para os profissionais de saúde (Cano de la Cuerda & Collado Vázquez, 2012). Cerca de 30 a 60%



de indivíduos que sofreram AVC, não conseguem recuperar a funcionalidade do membro superior mesmo após reabilitação intensiva (F. Lucca et al., 2009).

Os robôs como equipamentos de reabilitação podem ser divididos em duas categorias: os robôs exoesqueletos e os robôs *end-effector* (Molteni et al., 2018). O primeiro é definido como uma estrutura externa com objetivo de dar suporte em várias articulações do membro superior e assistir durante o movimento, o segundo caracteriza-se por um sistema conectado ao utente pelo seu segmento mais distal (Grotta et al., 2021; S. H. Lee et al., 2020a).

Neste estudo, o sistema de reabilitação robótica recorre a um robô colaborativo industrial UR5, do tipo *end-effector*, equipado com um manipulador especialmente concebido, que integra um apontador laser. Durante a utilização, o paciente movimenta manualmente o robô, que opera sob controlo de força, projetando o feixe laser sobre um quadro branco, onde é possível definir os percursos a realizar (ver Figura 1, 4 e 5). Esta configuração permite a realização de exercícios com orientação visual, nos quais os pacientes seguem trajetórias previamente definidas, com níveis de dificuldade ajustáveis pelo terapeuta, recebendo simultaneamente feedback imediato sobre o seu desempenho.



Figura 1 – Robô colaborativo UR5 com manipulador dotado de apontador laser

O robô colaborativo UR5 possui seis eixos, um alcance de 850 mm e uma capacidade de carga de 5 kg. Está equipado com um sensor de força de seis eixos integrado na extremidade do elemento terminal do robô. O controlador do robô oferece funcionalidades de segurança intrínsecas e opções de controlo, permitindo operar o robô em modos de controlo de força, posição ou velocidade. Esta versatilidade



permite que o robô seja conduzido pelo paciente ou que conduza o paciente ao longo de trajetos pré-programados.

Para além dos exercícios controlados por força, nos quais o paciente tem de mover o robô, sendo usado o apontador laser para visualizar os percursos realizados, o programa de reabilitação inclui exercícios controlados por posição e velocidade, concebidos para simular tarefas funcionais do dia a dia. Estes exercícios envolvem alcançar objetos enquanto sentado ou em pé, ajudando os pacientes a recuperar a coordenação e o controlo dos membros superiores. A repetição de movimentos em padrões normais contribui para a integração desta informação ao nível cortical (Kang et al., 2016). Os programas robóticos são adaptáveis, permitindo uma configuração fácil para pacientes de diferentes estaturas e condições físicas.

O robô UR5 está homologado para poder operar em espaço partilhado com operador humano. Para garantir a segurança e o conforto do paciente, é disponibilizado um botão de paragem de emergência, permitindo ao paciente interromper imediatamente a sessão em caso de desconforto ou mal-estar.

2.3. Estimulação Transcraniana por corrente elétrica (tDCS)

2.3.1. Introdução

A estimulação transcraniana por corrente elétrica direta (tDCS) é um método não invasivo de neuromodulação de excitabilidade cortical através da estimulação por corrente elétrica contínua de baixa intensidade (Antal et al., 2017). A aplicação da corrente pode ser catódica ou anódica, despolarizando e hiperpolarizando a membrana celular, respetivamente, aumentando ou diminuindo a taxa de disparo neuronal (Stagg & Nitsche, 2011).

O posicionamento dos elétrodos no escalpe permite formar um circuito elétrico fechado, no qual a passagem da corrente do elétrodo positivo para o negativo atravessa o cérebro, modelando a excitabilidade cortical dos neurónios das regiões cerebrais localizadas nesse trajeto (Saturnino et al., 2019).

A estimulação transcraniana por corrente contínua apresenta potencial quando combinada com outros métodos comprovadamente eficazes na área da reabilitação (Reinkensmeyer et al., 2022). Assim, a proposta é utilizar a estimulação para induzir um estado de prontidão neuroplástica, através da modulação da excitabilidade cortical das regiões de interesse, que poderá ser conseqüentemente



recrutado por outras abordagens de intervenção, especialmente aquelas cuja eficácia depende amplamente de processos neuroplásticos (Campos et al., 2023).

Desta forma, a ativação de processos neuroplásticos através da estimulação pode permitir a eficácia das metodologias aplicadas após a estimulação, desde que estas sejam implementadas numa janela temporal congruente com a duração dos efeitos da excitabilidade cortical, aproximadamente 90 minutos (Nitsche & Paulus, 2001).

Existem já vários estudos que têm salientado o potencial da combinação da estimulação transcraniana por corrente contínua com outras intervenções como a terapia de espelho (Q. Zhao et al., 2022), *constraint-induced movement therapy* (Garrido M et al., 2023b), utilização de realidade virtual (Cheng et al., 2024), entre outras (Q. Zhao et al., 2022). Esta tendência mais recente será provavelmente uma área em expansão nos próximos anos, dado que provar a eficácia da combinação da estimulação transcraniana por corrente contínua com outras práticas baseadas na evidência será fundamental para tornar este método uma alternativa mais frequentemente utilizada em contexto hospitalar e nas clínicas de reabilitação.

2.3.2. Mecanismos Neurobiológicos

Os mecanismos neurobiológicos *online* são as alterações que a corrente elétrica produz durante a aplicação da estimulação. Estudos de Nitsche e Paulus constataram que a estimulação na anódica aumentava a amplitude dos potenciais motores evocados e a estimulação catódica reduzia a amplitude desses potenciais, conferindo aumento e redução da excitabilidade cortical, respetivamente (Nitsche et al., 2003; Nitsche & Paulus, 2001).

Estes resultados são explicados pela ação moduladora do potencial de membrana dos neurónios. Normalmente os neurónios têm um potencial de repouso de 70 mV e um limiar de disparo de 55 mV que quando é alcançado produz um potencial de ação (Chrysafides et al., 2025). A ação da tDCS neste mecanismo é modelar o potencial de membrana dos neurónios estimulados e não induzir diretamente potenciais de ação (Knotkova et al., 2019).

Na estimulação anódica os neurónios são despolarizados e o potencial de membrana aproxima-se do limiar de disparo. Pelo contrário, na estimulação catódica os neurónios são hiperpolarizados, e o potencial de membrana afasta-se do limiar de disparo, sendo mais difícil de criar um potencial de ação (Nitsche & Paulus, 2000).

Os mecanismos neurobiológicos *offline* caracterizam-se pelas alterações neurobiológicas logo após a estimulação. Estes permitem que, após terminar o processo de estimulação com a tDCS, os



processos neuroplásticos sejam ativados excitando ou inibindo as ligações sinápticas das regiões estimuladas (Nitsche & Paulus, 2001).

Michael Nitsche e Walter Paulus provaram que os aumentos de amplitude dos potenciais evocados motores permanecem estáveis durante 90 minutos quando induzidos por um protocolo anódico ou catódico na mesma região. Este mecanismo é explicado por mecanismos de fortalecimento ou enfraquecimento das relações sinápticas: potenciação a longo prazo (LTP) e depressão a longo prazo (LTD), respetivamente (Nitsche & Paulus, 2001).

O mecanismo de LTP caracteriza-se por alterações moleculares na membrana dos neurónios pré e pós sináptico facilitando a eficiência sináptica (Roche et al., 2015). Dá-se o aumento de libertação de vesículas pré sinápticas com neurotransmissores, o aumento de recetores no neurónio pós-sináptico e alteração da morfologia das terminações sinápticas, permitindo uma melhor facilitação de transmissão de impulso (Nitsche et al., 2004). Por outro lado, o mecanismo LTD está associado a alterações moleculares opostas que diminuem a transmissão sináptica entre neurónios (Knotkova et al., 2019; Roche et al., 2015).

Na estimulação anódica, a corrente elétrica induzida promove a abertura dos canais dependentes de voltagem, levando à entrada de sódio e cálcio e conseqüentemente a despolarização dos neurónios. No neurónio pré-sináptico aumenta a probabilidade de disparar espontaneamente, libertando glutamato na fenda pós sináptica e ativação dos recetores AMPA pós sinápticos (Nitsche et al., 2004).

2.3.3. Parâmetros de estimulação

Para a colocação dos eléttodos, os protocolos utilizam normalmente três formas para identificar as zonas para estimulação: Sistema de neuronavegação esterotáxica *online*, posicionamento com base em pontos de referência fixos ou através do sistema 10–20 utilizado no eletroencefalograma (EEG). Os eléttodos podem ter montagens bicefálicas ou Dual-tDCS (ambos os eléttodos são colocados em contacto com o escalpe) ou monocefálicas (um eléttodo catódico ou anódico é colocado em contacto com o escalpe e o outro é colocado num dos membros superiores) dependendo da região a ser estimulada. Relativamente à zona estimulada, diferentes protocolos preconizam a posição dos eléttodos se o objetivo da intervenção tem uma componente motora ou cognitiva. Assim, os protocolos estimulam frequentemente o córtex motor primário (M1) e a estimulação do córtex dorsolateral pré-frontal (CDLPF).

Neste estudo de caso será aplicada uma montagem bicefálica com o eléttodo anódico no Córtex Motor Primário (M1) do hemiesfério ipsilesional e o eléttodo catódico no córtex M1 do hemisfério contralesional.



A eficácia da tDCS depende de diversos parâmetros relacionados com a dosagem tais como a polaridade, intensidade e densidade da corrente, duração e o número de sessões (Campos et al., 2023; Kadosh, 2014). Os fatores supramencionados não funcionam de forma independente, ou seja, o uso de diferentes intensidades e/ou durações podem reverter a polaridade da estimulação adotada para intervenção (Shilo & Lavidor, 2019).

A corrente aplicada na tDCS é do tipo corrente contínua (direta e monopolar). No início da estimulação a corrente é gradualmente aumentada até atingir a intensidade adequada e no final gradualmente diminuída "*ramp-up/ramp-down*" (Knotkova et al., 2019). Este método é aplicado através do uso de dois elétrodos de cargas diferentes, ânodo (carga positiva) e cátodo (carga negativa) no escalpe. Assim, a aplicação da corrente pode ser catódica ou anódica, despolarizando e hiperpolarizando a membrana celular, respetivamente, aumentando ou diminuindo a taxa de disparo neuronal (Nitsche & Paulus, 2000).

A corrente varia entre os 0,5 e 2 mA. Em estudos recentes afirmam que protocolos anódicos até 1mA apresentam um maior impacto na excitabilidade cortical a comparar com protocolos de intensidade superior a 1mA (Batsikadze et al., 2013). Nos protocolos catódicos, estes apresentam inibição cortical em intensidade de 1 mA e 3 mA e reverterem com 2 mA (Batsikadze et al., 2013).

A duração da sessão apresenta também uma interação com a polaridade da estimulação (Monte-Silva et al., 2013). Inicialmente, nos primeiros estudos da tDCS, afirmava-se que quanto maior o tempo de exposição ao estímulo, maior o aumento ou redução da excitabilidade cortical (Nitsche & Paulus, 2000, 2001). Contudo, apesar de ainda não ser consensual, a nova evidência afirma que protocolos catódicos de 2mA reduzem a excitabilidade cortical até aos primeiros 15 minutos da estimulação e em protocolos catódicos de 1mA são mais eficazes num tempo superior a 15 minutos (Shilo & Lavidor, 2019).

Relativamente ao número de sessões, existem protocolos que preconizam 30 ou 40 sessões e outros 5 a 20 sessões, sendo tipicamente protocolada uma intervenção com 10 sessões de tDCS. As sessões são normalmente de administração diária, sendo que também se utilizam protocolos de 2-3 sessões por semana. Assim, a maior parte dos protocolos utilizam 10 sessões de 20 minutos 5 vezes por semana.

Para além disso, existem outros indicadores da dosagem da estimulação, tais como a densidade de corrente (intensidade da corrente dividida pela área do eletrodo) e densidade da carga (intensidade da corrente dividida pela área do eletrodo e a duração da estimulação).



2.3.4. tDCS e AVC

Conforme referido anteriormente, o AVC pode ser caracterizado por alterações de natureza física, sensorial, cognitiva e emocional, as quais podem culminar em diferentes graus de incapacidade ao longo da vida do utente.

Segundo o modelo de “modelo de competição inter-hemisférica ou “modelo de inibição inter-hemisférica”, inicialmente descrito por Cook (1984) pressupõe que os dois hemisférios cerebrais estejam constantemente em inibição recíproca através do corpo caloso, permitindo a lateralização da informação sem interferências hemisféricas anormais (Bloom & Hynd, 2005). Contudo, após o AVC existe uma hiperativação cortical do hemisfério contralesional que provoca uma inibição anormal do hemisfério ipsilesional, ou seja, de acordo com este modelo, o membro superior lesionado tende gradualmente a piorar pela inibição constante do hemisfério ipsilesional (Abualait, 2020; Boddington & Reynolds, 2017; Hummel & Cohen, 2006).

A tDCS nas últimas décadas tem sido explorada como adjuvante no tratamento do AVC, uma vez que, segundo o modelo de Inibição inter-hemisférica, esta atua de forma não invasiva diminuindo a excitação do hemisfério contralesional e aumentando a do hemisfério ipsilesional.

Desta forma, a tDCS tem sido explorado combinado com abordagens terapêuticas *gold-standard* usadas pela Terapia Ocupacional no tratamento do AVC de modo a promover aprendizagem cortical pelos princípios da neuroplasticidade, tanto em AVC agudos como crónicos.

A literatura atual refere que a estimulação transcraniana por corrente elétrica apresenta efeitos benéficos na funcionalidade do membro superior do utente com AVC, especialmente em AVC crónico. Diversos estudos apontam que apesar dos efeitos benéficos desta terapêutica no AVC, referem também que os resultados são heterogêneos e que os estudos publicados apresentam limitações metodológicas (Ahmed et al., 2022; Butler et al., 2013; Elsner et al., 2017; Fregni et al., 2021; Narayan et al., 2022; Van Hoornweder et al., 2021; Yu et al., 2025).

A heterogeneidade dos resultados pode ser explicada pela diversidade da localização cortical e *offset* do AVC (Plow et al., 2015), as características do utente, a configuração da tDCS e a dosagem usada de acordo com o tipo de manifestação clínica (Van Hoornweder et al., 2021).

Segundo a meta-análise de Fregni et al. (2021) a estimulação anódica ipsilesional, a catódica contralesional e a bilateral no córtex M1 são provavelmente eficazes na recuperação motora de um AVC crónico (nível B de acordo com as guidelines dos níveis de evidência).



2.4. tDCS e Tecnologia Robótica Aplicadas à Recuperação Pós AVC

A combinação da tDCS com a realização de exercícios por robô colaborativo em pacientes com AVC tem sido explorada ao longo dos anos. A evolução da aplicação destas técnicas e do uso de robôs mais eficientes tem sido alvo de estudos nesta condição.

Assim, de forma a reunir toda a informação já disponível sobre a combinação destas duas técnicas na reabilitação do membro superior do AVC foi realizada uma revisão de literatura através da PUBMED e WebOfScience. A query utilizada para esta revisão de literatura: (((robô*) AND (tDCS[Title/Abstract])) AND (Stroke[Title/Abstract])) AND (upper limb[Title/Abstract]) e foram encontrados 17 artigos dos quais foram retirados e analisados os dados para construção do protocolo de tDCS do presente estudo (Tabela 1).

De acordo com a revisão da literatura, o protocolo tDCS combinado com terapia assistida por robôs mais utilizado neste estudo de caso é a estimulação Dual-tDCS, com o eletrodo anódico sobre o Córtex M1 do hemisfério direito (ipsilesional) e o eletrodo catódico sobre o Córtex M1 do hemisfério esquerdo (contralesional). Além disso, a equipa de investigação optou por uma duração de 20 minutos com uma intensidade de 1mA, tal como descrito nos estudos de (Ang et al., 2012, 2015; Straudi et al., 2016).

O momento da aplicação da estimulação em relação à intervenção foi decidido de acordo com os parâmetros atencionais da utente, sendo que os eletrodos colocados no escalpe da utente durante as intervenções podiam ser consideradas um fator distrator na realização dos exercícios no robô. Desta forma, a realização da tDCS ocorre antes da intervenção.

Tabela 1. Revisão da literatura sobre a combinação da tDCS com o robô em AVC

| Autor/Ano | Posição anódica | Posição catódica | Intensidade (mA) | Duração | Tamanho eletrodo (X x X cm) (x cm ²) | Antes vs durante a intervenção |
|------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|---------|--|--------------------------------|
| Giacobbe et al., 2013) | a-Tdcs C3 (M1) | Contra SO | 2 mA | 20min | 35 | Antes, durante e depois |
| (Edwards et al., 2009) | a-tdcs (Flexor radial do carpo) | Contra SO | 1 mA | 20min | 35 | Depois |



| | | | | | | |
|--------------------------|---|--|--------|---|----|--|
| (Hesse et al., 2007) | a-tdcs Ipsilesional M1 | Contra SO | 1,5 mA | 20min/30 sessões | 35 | Durante os primeiros 7 minutos |
| (Hesse et al., 2011) | a-tDCS C3 Contra SO | Contra SO c-tDCS C3 | 2 mA | 20min/30 sessões durante 6 semanas | 35 | Durante |
| (Ang et al., 2012) | M1 ipsilesional | M1 contralesio nal | 1 mA | 20 min/10 sessões em 2 semanas | 35 | Antes |
| (Ochi et al., 2013) | a-tdcs M1 ipsilesional Contra SO | Contra SO c-tdcs M1 contralesio nal | 1 mA | 5 dias consecutivos | 35 | Durante os primeiros 10 minutos de intervenção |
| (Triccas et al., 2015) | a-tDCS C3/C4 (M1) affected hemispheric | Contra SO | 1 mA | 18 sessões/ 8 semanas | 35 | Durante 20 minutos (1h de intervenção) |
| (Ang et al., 2015) | a-tdcs Ipsilesional M1 | M1 contralater al (C4) | 1 mA | 20 min / 10 sessões em 2 semanas | 35 | 1 hora antes |
| (Mazzoleni et al., 2015) | a-tDCS (área cortical da mão - ipsilesional) | Contra SO | 2 mA | 20 min / 5 sessões durante 6 semanas | 35 | Primeiros 20 minutos |
| (Straudi et al., 2016) | a-tDCS (M1) | c-tDCS (M1) | 1 mA | 10 sessões em 2 semanas 30min | 35 | Durante |
| (Mazzoleni et al., 2017) | tDCS (área cortical da mão - ipsilesional) | Contra SO | 2 mA | 30 sessões em 6 semanas | 35 | Durante 20 minutos (30 minutos de intervenção) |



| | | | | | | |
|--------------------------|---|--|------|--|--------|--|
| (Dehem et al., 2018) | a-tDCS (M1) | c-tDCS contralateral (M1) | 1 mA | 20 min/2 sessões com uma semana de intervalo | 35 | Durante |
| (Pai et al., 2018) | a-tDCS ipsilesional M1 | M1 contra lesional | 1 mA | 20min (não diz número de sessões) | 35cm2 | Antes |
| (Edwards et al., 2019) | a-tDCS C3/C4 (M1) | Contra SO | 2 mA | 20 min/36 sessões em 12 semanas | 35 cm2 | 20 minutos antes da intervenção |
| (Mazzoleni et al., 2019) | a-tDCS C3/C4 (M1) | Contra SO | 2 mA | 30min/30 sessões durante 6 semanas | 35 | Durante os primeiros 20 minutos da intervenção |
| (Morone et al., 2022) | a-tDCS C3/C4 M1 | Contra SO | 2 mA | 10 sessões em 2 semanas | 35 | Antes |
| (Zhu et al., 2024) | 1ª fase Contra SO 2ª fase Ipsilesional M1 | c-TDCS IPsilateral M1 Contra SO | 2 mA | 40 min (20 a- tdcs + 20 c- tdcs) 10 sessões em 2 semanas | 35cm2 | Durante |

2.5. Objetivos

O objetivo deste estudo é avaliar os efeitos do uso da Estimulação Transcraniana por Corrente Elétrica (tDCS) complementar com a terapia assistida por um robô colaborativo na funcionalidade do membro superior de uma paciente com Acidente Vascular Encefálico (AVC) crónico em formato de estudo de caso. Para além disso, neste estudo pretende-se verificar a atuação da tDCS combinada com o robô na função motora do membro superior, na atenção e na fadiga procurando responder à seguinte questão: qual o impacto da combinação destas duas abordagens na funcionalidade do membro superior em paciente com AVC crónico? A resposta a esta questão será explorada através de uma abordagem



inovadora, orientada por necessidades clínicas específicas, num contexto ainda pouco estudado na literatura, e que exige uma adaptação metodológica cuidadosa, como se detalha de seguida.

A equipa de investigação optou por usar o presente estudo em formato de estudo de caso, orientado pela estrutura da *CARE Guideline*, uma vez que não existe nenhum protocolo tDCS em AVC crónico para o robô colaborativo UR5 e para os exercícios aplicados à utente.

Esta linha surgiu no âmbito da procura de respostas interventivas mais benéficas em pacientes crónicos de AVC através de aplicação de um protocolo interventivo para promoção da funcionalidade do participante no seu contexto através da estimulação atencional e motora do membro superior. Neste estudo pretende-se avaliar através de métodos quantitativos as competências motoras com aplicação do *Box and Block's Test*, *Goniometria*, *Dinamometria*, as competências cognitivas atencionais através da execução do *Psychomotor Vigilance Task (PVT) - Simple visual reaction time test* e avaliar a fadiga com *Fatigue Assessment Scale - versão portuguesa (FAS)* e, de forma qualitativa caracterizar a participação ocupacional do utente em contexto domiciliário através de uma entrevista semi-estruturada.

O AVC é caracterizado pela alteração funcional do cérebro por perda de aporte sanguíneo adequado à região cortical podendo levar à morte cortical localizada. Como resposta fisiológica, dá-se o processo de inibição inter-hemisférica que consiste na inibição do hemisfério ipsilesional e excitabilidade no hemisfério contralesional (Abualait, 2020; Boddington & Reynolds, 2017). Com base neste pressuposto e na revisão de literatura (Tabela 1), a equipa de investigação usou um protocolo Dual-Tdcs (anódico C4 e catódico C3, com base no sistema posicionamento de elétrodos 10-20 eletroencefalograma (EEG)) de modo a inibir o hemisfério contralesional e promover excitabilidade do hemisfério ipsilesional, contrariando a inibição inter-hemisférica inadequada (Abualait, 2020; Pai et al., 2018). Para além disso, o uso do robô juntamente com a tDCS permite perceber se há alterações na componente atencional e maior envolvimento da participante no protocolo interventivo.

Apesar da literatura ainda ser inconclusiva em relação à combinação destas duas abordagens em AVC crónico devido à variabilidade de protocolos de tDCS e de robô, neste estudo foi realizada uma revisão da literatura para escolha do protocolo Dual-tDCS e procedeu-se à adaptação de um robô colaborativo para promover maior conforto e potenciar a motivação na participação da utente ao longo da intervenção (Rodrigues et al., 2023). Para além disso, uma vez que este estudo usa um robô colaborativo da Universidade do Porto nunca testado com o uso da tDCS, o protocolo baseou-se de acordo com a revisão dos artigos acima mencionados.

De acordo com a revisão de literatura supramencionada, apesar do aumento de estudos sobre combinação da tDCS com robótica, a evidência ainda não é clara sobre que protocolos podem ser usados



para diferentes manifestações clínicas do AVC. Segundo Zhu (2024), existem muitos estudos sobre a estimulação ipsilesional anódica no córtex motor primário (M1) na recuperação da função do membro superior. Contudo, a evidência ainda não é suficientemente alta para aplicação clínica.

Deste forma, este estudo pretende verificar o impacto da estimulação transcraniana por corrente elétrica anódica do córtex M1 ipsilesional e catódica do córtex M1 contralesional combinada com a intervenção assistida por um robô colaborativo na funcionalidade do membro superior.

3. Metodologia

3.1. Informação do utente e dados clínicos

A A.S é uma utente do sexo feminino com 64 anos, reside sozinha no Porto e previamente independente e autónoma. Trabalhava no ramo da marcenaria, mais especificamente no corte das madeiras para posterior montagem na fábrica do seu irmão.

Como antecedentes pessoais, a A.S apresentava dislipidemia, excesso ponderal, hipertiroidismo, fratura distal do rádio esquerdo em 2021, mas sem qualquer impacto funcional no seu dia-a-dia.

Em junho de 2024 a utente começou por apresentar perda de força no hemicorpo esquerdo e “fala arrastada” e deu entrada na urgência do Hospital Padre Américo com quadro de AVC isquémico (LACI) em menos de 12h após os primeiros sinais de alerta.

Aos exames objetivos neurológicos do Hospital, conta perfil tensional hipertenso (TA 191/97), hemiparesia esquerda 4+/5 pela escala de Answorth, executou prova de braços estendidos com queda e com fecho progressivo da mão esquerda (sic), sem alteração da sensibilidade, discreto apagamento do sulco nasolabial esquerdo, sem alterações formais da linguagem, disartria e sem alterações da oculomotricidade. Para além disso foi pontuada com 6 pontos na escala NHISS.

Quadro sintomatológico:

- Estado de consciência e quadro neuropsicológico: consciente, orientada na pessoa; alterações multidomínios nomeadamente em processos atencionais, memória de trabalho, flexibilidade cognitiva e ligeira lentificação psicomotora.
- Estado psicoemocional: depressivo e ansioso com diagnóstico pré-mórbido.
- Estado emocional: eutímica, sem sinais de agitação.
- Comunicação: sem alterações da fala e linguagem
- Deglutição: disfagia orofaríngea neurogénica¹



- Quadro neuromotor: hemiparesia esquerda, inclinação lateral esquerda do tronco, controlo da cintura escapular reduzido com afetação da funcionalidade do membro superior, não era capaz de levar comida e o copo à boca, dificuldade na preensão do garfo para corte da comida com a outra mão, higiene pessoal e banho eram realizados de aforma autónoma, contudo necessitava de barras de apoio, vestia-se e despia-se autonomamente a metade superior, mas com dificuldades aumentadas na metade inferior. Ligeira dificuldade em transferências e locomoção em contexto hospitalar.
- Quadro sensitivo: Hemihipoestesia esquerda

3.2. Avaliação Diagnóstica

Não foi possível o acesso à primeira imagem médica realizada no Hospital Padre Américo, contudo o relatório de alta médica refere, ao exame de:

- TC do crânio: “Ausência de anomalias significativas densitométricas encefálicas focais. Sistema ventrículo-cisternal permeável. Sulcos corticais patentes. Padrão de atrofia cerebral difusa. Ausência de coleções hídricas e/ou hemáticas extra-axiais. Estruturas medianas sem desvios posicionais. Aspetos regulares das estruturas ósseas da calote e base do crânio”.
- Angio-TC do crânio: “No estudo dos vasos do pescoço assinalamos regular morfologia e calibre dos eixos carotídeos, sem evidência de lesões ectasiantes e/ou estenosantes. Regular calibre e permeabilidade das artérias vertebrais. Pegular calibre e permeabilidade das estruturas arteriais intracranianas dos sistemas carotídeos e vertebrobasilar, nomeadamente sem evidência de ectasias, estenoses ou oclusões”.
- RMN: “Vertente paramediana direita da protuberância, configurando enfarte recente em território de ramos perforantes da artéria basilar e focos antigos subcorticais frontais anteriores esquerdos”.

A imagem médica disponível para o presente estudo foi realizado no dia 3/12/2025, cerca de 5 meses após a ocorrência do AVC. O exame realizado foi um Tomografia Computorizada Crânio-encefálica (TAC) onde foram efetuados “cortes axiais, em modo helical, compreendidos entre o atlas e o vértex do crânio, em janela de parênquima encefálico e de detalhe ósseo”.

A TAC revela um “foco hipodenso na protuberância, à direita, refletindo provável enfarte antigo em território do ramo perforante da artéria basilar. As vias de liquor são amplas, refletindo atrofia encefálica difusa”. (Figura 2)

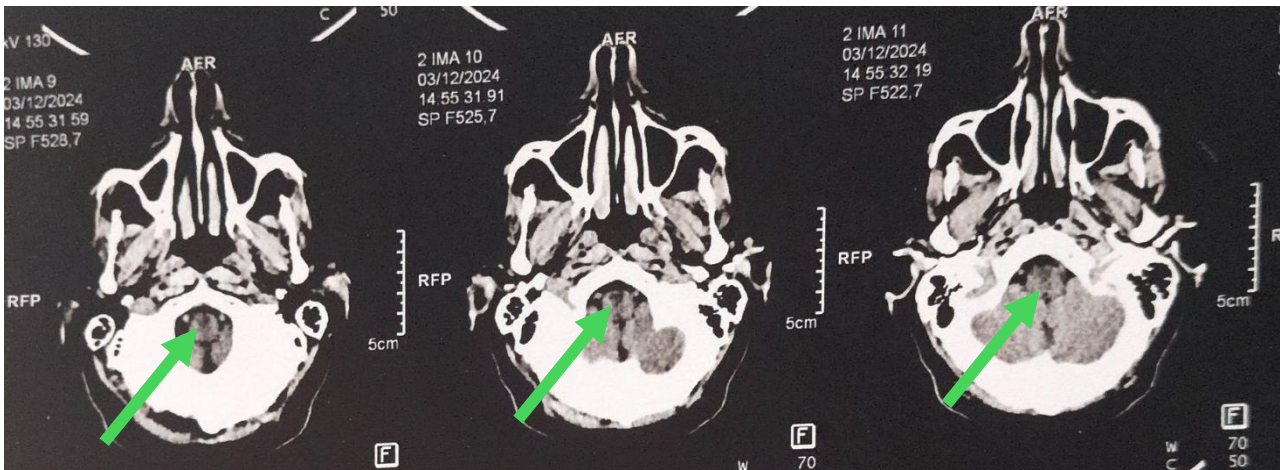


Figura 2. TAC realizada a 3/12/2024

3.3. Timeline Clínica

Na tabela 2 estão representados por ordem cronológica os episódios clínicos passados e atuais da utente desde a ocorrência do AVC até ao último momento do presente estudo.

Tabela 2. Episódios clínicos da utente

| Datas | Descrição |
|---------|---|
| 06/2024 | Ocorrência do AVC e entrada no Hospital Padre Américo |
| 07/2024 | Início da reabilitação em contexto hospitalar |
| 07/2024 | Admissão no Hospital da Prelada |
| 09/2024 | Alta clínica e administrativa do Hospital da Prelada |
| 09/2024 | Recomeço da reabilitação em clínica |
| 01/2025 | Fim da reabilitação |
| 02/2025 | Construção do protocolo e adaptação do robô |
| 04/2025 | Aprovação da comissão de ética |
| 05/2025 | Avaliação inicial para o presente estudo |
| 05/2025 | Início da intervenção para o presente estudo |
| 05/2025 | Avaliação intermédia |
| 05/2025 | Avaliação final |
| 05/2025 | Fim da intervenção |
| 06/2025 | Follow-up |



3.4. Intervenções terapêuticas

Inicialmente, após manifestar interesse em participar no estudo e estando o consentimento confirmado, foi aplicado um questionário à utente sobre os parâmetros de segurança da tDCS para avaliar contraindicações e fatores de risco da utente. Apesar da corrente ser considerada baixa e não invasiva, é contraindicada presença de metais no crânio e implantes elétricos no corpo. Os fatores de risco estão associados à alteração do limiar convulsivo que pode estar presente em utentes com historial de epilepsia/convulsões, procedimentos cirúrgicos no crânio/coluna vertebral recentes, historial de traumatismo craniano e a utilização de medicação psicotrópica (Russo et al., 2017; Sreeraj et al., 2023).

Após confirmação do interesse, consentimento e validação dos parâmetros de segurança para participar no estudo procedeu-se para a intervenção dividida em 4 fases:

1ª fase (pré intervenção)

A equipa de investigação formulou um protótipo de um protocolo de exercícios, bem como a preparação do robô para a execução dos mesmos no Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI). O protocolo foi definido de acordo com o conhecimento prévio das manifestações clínicas da utente, conhecida por um dos investigadores da equipa.

2ª fase (pré intervenção)

A utente deslocou-se ao laboratório e procedeu-se à medição dos seus dados antropométricos para ajustar os movimentos do braço do robô, forças opostas no movimento ativo do robô e a posição da mesa para os exercícios 2 e 3.

Para além disso, foi realizada a primeira fase de avaliação 4 horas antes da primeira intervenção com tDCS de modo a garantir que a utente não realizasse os exercícios com fadiga. Foram aplicados os testes Goniometria, Dinamometria, Box and Blocks' Test (BBT), *Fatigue Assessment Scale* – versão portuguesa (FAS), *Psychomotor Vigilance Test* (PVT) e entrevista semi-estruturada criada pelos investigadores do estudo. Os testes Goniometria, Dinamometria, BBT e PVT foram realizados com o membro superior afetado.

3ª fase (intervenção)

A intervenção foi realizada utilizando estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) antes dos exercícios com o robô. A estimulação foi realizada com montagem bicefálica, na qual ambos os



elétrodos foram posicionados sobre o escalpe. A localização anatômica das zonas de estimulação foi determinada com base no sistema internacional 10–20 de EEG, uma abordagem amplamente utilizada e validada para fins de neuromodulação.

Para o posicionamento dos elétrodos, inicialmente foi necessário proceder às medições do crânio para localizar o vertex (Cz). O ponto é obtido primeiramente pela medição da distância do *nasion* até ao inion e é traçado no escalpe 50% do comprimento dessa medida. O mesmo é executado para a distância entre o tragus esquerdo e direito. A interseção dos dois traços corresponde ao Vertex (Cz).

De modo a localizar a posição C3 e C4 foi necessário calcular 20% da distância entre Cz e o tragus esquerdo e direito, respetivamente. É feito um ponto a caneta no escalpe para proceder à colocação do elétrodo com menor erro possível. Este procedimento foi realizado nas 10 sessões.

O elétrodo anódico foi colocado na posição C4 do hemisfério ipsilesional, correspondente ao córtex motor primário (M1) com o objetivo de aumentar a excitabilidade cortical da área responsável pelo membro superior afetado pela lesão. Já o elétrodo catódico foi posicionado em C3, no Córtex M1 do hemisfério contralesional, completando o circuito de estimulação elétrica. Esta configuração foi selecionada com base em literatura consolidada que demonstra que a estimulação anódica de M1 pode potenciar a plasticidade sináptica e melhorar significativamente o desempenho motor do membro superior (Butler et al., 2013; Talimkhani et al., 2025).

A dosagem utilizada para a aplicação da tDCS seguiu parâmetros reconhecidos na literatura quanto à segurança e eficácia (Ang et al., 2012, 2015; Straudi et al., 2016). A corrente aplicada foi direta, monopolar e contínua, com intensidade de 1 mA, durante um período total de 20 minutos. A corrente foi aplicada de forma gradual no início e final da sessão, num processo designado por "*ramp up/ramp down*", a fim de reduzir o desconforto e garantir a segurança do participante. A escolha de 1 mA por 20 minutos foi sustentada por estudos recentes que indicam que esta intensidade, quando aplicada com esta duração, tem maior impacto na excitabilidade cortical do que intensidades superiores, sem provocar efeitos adversos ou inversão da polaridade esperada (Saturnino et al., 2019; Strube et al., 2016).

Foram utilizados elétrodos revestido com esponjas retangulares com dimensões de 5 cm x 7 cm. A densidade de corrente (0.286 mA/cm²) foi controlada pela manutenção da mesma área (35 cm²) dos elétrodos na utente (Saturnino et al., 2019). A equipa de investigação optou por realizar a tDCS com frequência de 5 vezes em duas semanas, totalizando um total de 10 sessões de tDCS e intervenção



combinada com o robô, de acordo com a revisão de literatura supramencionada (Ang et al., 2012, 2015; Dehem et al., 2018; Pai et al., 2018; Straudi et al., 2016; Zhu et al., 2024).

Os exercícios começavam logo após a desmontagem dos elétrodos e intervalavam-se em 1 minuto. De modo a garantir que a participante não se posicionava de forma diferente em relação ao robô, podendo alterar as distâncias necessárias para percorrer o movimento com o membro superior, foram colocadas marcas no piso do laboratório como referência da posição dos pés no primeiro e último exercício e também da posição dos pés da cadeira para o segundo e terceiro exercício, respetivamente (figura 3.1 e 3.2).



Fig 3.1 Referência para a posição dos pés da cadeira para o exercício 2 e 3

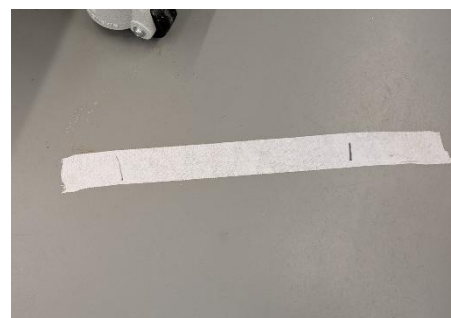


Fig 3.2 Referência para a posição dos pés da utente para o exercício 1 e 4

O primeiro exercício consiste na execução do gesto de alcance de forma passiva (5 repetições).

No segundo e terceiro exercício a utente deve mover o robô, dotado de um punho com um apontador laser, de modo a delinear percursos geométricos definidos pela equipa de investigação (figura 4 e 5). Os percursos foram escolhidos de forma que o trajeto represente um movimento funcional do quotidiano da utente, por exemplo o trajeto da Figura 4. representa o alcançar e mover lateralmente um objeto. O trajeto da Figura 5. representa o mover objetos em linha reta num plano horizontal.

Estes percursos devem ser percorridos através do movimento ativo, num plano horizontal xy. Para este efeito, o robô foi programado para permitir ser movido pela utente, mas apresentando uma força opositora na direção y, sentido negativo. Assim, a utente tem biofeedback mecânico de movimento e feedback visual através do apontador laser (5 repetições cada movimento).

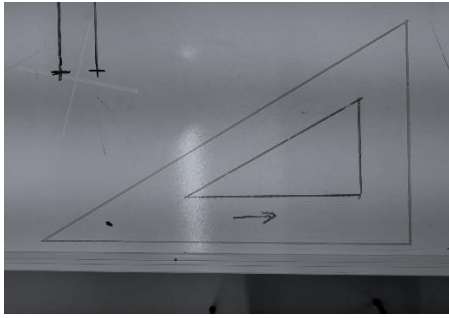


Figura 4.

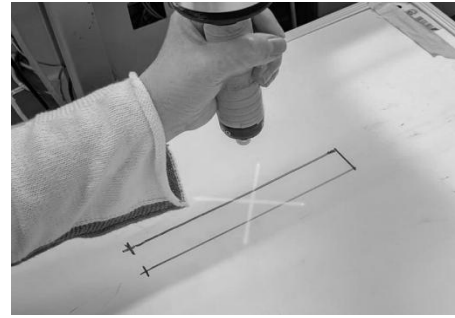


Figura 5.

O 4º exercício é a repetição do primeiro, ou seja, repetir gesto de alcance de modo a verificar a existência de aprendizagem do movimento de acordo com a os princípios de aprendizagem motora, através da repetição do movimento em duas fases da sessão (5 repetições). Após a primeira repetição dos 4 exercícios foi recolhido o feedback sobre a fadiga, dificuldade e facilidade dos exercícios e número de repetições de cada exercício. O grau de dificuldade dos exercícios supramencionados manteve-se ao longo de toda a intervenção.

Durante a execução do segundo e terceiro exercício o investigador cronometrou o tempo realizado para cada o exercício. Foram realizadas marcas na figura geométrica para marcar o início e o fim da contagem do tempo, ou seja, a participante colocava a projeção do laser na marca inicial, começava o exercício com a ordem do investigador e terminava à quinta vez que tocasse na marca.

Dado que a tDCS é uma técnica não invasiva e usa correntes elétricas baixas, não obstante quando aplicada de forma negligente pode apresentar alguns riscos ao bem-estar do utente. Esta técnica poderá estar associada a manifestações secundárias transitórias traduzidas pelo desconforto da zona onde estão colocados os eléctrodos, sendo que normalmente são relatadas sensações de comichão, formigueiro, ardor e/ou calor (Knotkova et al., 2019). Para além de poder gerar irritação da pele (rubor), esta técnica, por vezes, apresenta efeitos adversos incomuns tais como sensação de sabor metálico ou fadiga. Há relatos de dor na região do escalpe estimulada, mas são pouco frequentes (Campos et al., 2023).

Desta forma, após o término dos exercícios era questionado à participante que desconfortos ou sintomas adversos foram sentidos ao longo da estimulação, sendo que apenas sentia comichão nos primeiros 5 minutos de cada estimulação.



Para além disso, foi realizada a avaliação intermédia após a sexta sessão e a final após a décima sessão com aplicação dos mesmos testes executados no primeiro momento de avaliação. Na tabela 3 está descrita a estrutura da de cada sessão.

Tabela 3. Estrutura da sessão

| Procedimento | Duração |
|---|-------------|
| Medição do escalpe e colocação dos eléctrodos | ~5 minutos |
| Estimulação transcraniana por corrente eléctrica | 20 minutos |
| Pausa entre a tDCS e o 1º exercício (inclui a desmontagem dos eléctrodos) | ~5 minutos |
| 1º exercício | 3,5 minutos |
| Pausa entre 1º e 2º exercício | 1 minutos |
| 2º exercício | 1-2 minutos |
| Pausa entre 2º e 3º exercício | 1 minuto |
| 3º exercício | -1 minuto |
| Pausa entre o 3º e 4º exercício | 1 minuto |
| 4º exercício | 3,5 minutos |

4º fase (*follow up*)

Aplicação dos testes de avaliação 1 mês após o término da intervenção.

4. Resultados

4.1. *Outcomes e follow-up*

Neste estudo foram aplicados diferentes instrumentos de avaliação para o estudo, sendo que foi aplicada uma escala para a fadiga, uma entrevista-semiestruturada, dinamometria de preensão, goniometria, cronometragem, Box and Blok's Test e Psychomotor Vigilance test (PVT).

- **Dinamómetro (*Baseline*)** – O dinamómetro hidráulico de mão *Baseline* fornece leituras precisas da força de preensão isométrica sem que o indivíduo possa “sentir” o movimento da pega. Este dispositivo aceite internacionalmente garante fiabilidade, comodidade para o utilizador e repetibilidade das medições. A leitura máxima mantém-se até que a unidade seja reiniciada. Os



valores normativos para a força de prensão manual segundo Massy-Westropp et al., (2011) é de 23 kgf em mulheres com idade entre 60 e 69 anos.

Na tabela 4 estão descritos os valores realizados pela utente no teste de dinamometria. Apesar da utente não ter finalizado a intervenção com valores similares ao valor normativo para mulheres da sua idade, revela um aumento gradual da força palmar, mantendo o resultado no *follow up*.

Tabela 4. Valores dinamometria

| Tentativa | Pré intervenção | Durante intervenção | Pós intervenção | 1 mês pós intervenção (follow up) |
|-----------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | 9,4kg | 12kg | 14,5kg | 13,9kg |
| 2 | 12,6kg | 14,9kg | 15,7kg | 15,9kg |
| 3 | 10,5kg | 17,3kg | 17,3kg | 17,2kg |
| Média | 10,8kg | 14,7kg | 15,8kg | 15,7kg |

- **Goniometro Software SaPo** – O Software SAPO possibilita a digitalização e análise de fotografias e tem como objetivo criar um banco de dados sobre a postura através da marcação livre de pontos, medição de distâncias, ângulos corporais, entre outros, na vista anterior, posterior e lateral (Braz et al 2008). Segundo Braz et al (2008), é considerado um instrumento válido para a medição de ângulos e distâncias, com uma boa fiabilidade inter e intra-observadores.

Durante o registo fotográfico a utente e a câmara fotográfica foram colocadas sempre na mesma posição para garantir o menor erro possível do ângulo registado. O movimento registado e analisado foi unicamente o de flexão da articulação gleno-umeral . Na tabela 5 estão descritos os valores realizados pela utente no teste de goniometria. Apesar da utente não ter finalizado a intervenção com valores similares ao valor normativo para mulheres da sua idade, revela um aumento gradual da amplitude de flexão da glenoumeral, mantendo o resultado no *follow up*.

O valor normativo para a flexão da articulação glenoumeral em mulheres com 60 anos é de 165 graus de amplitude de movimento (Fiebert et al, 1995).

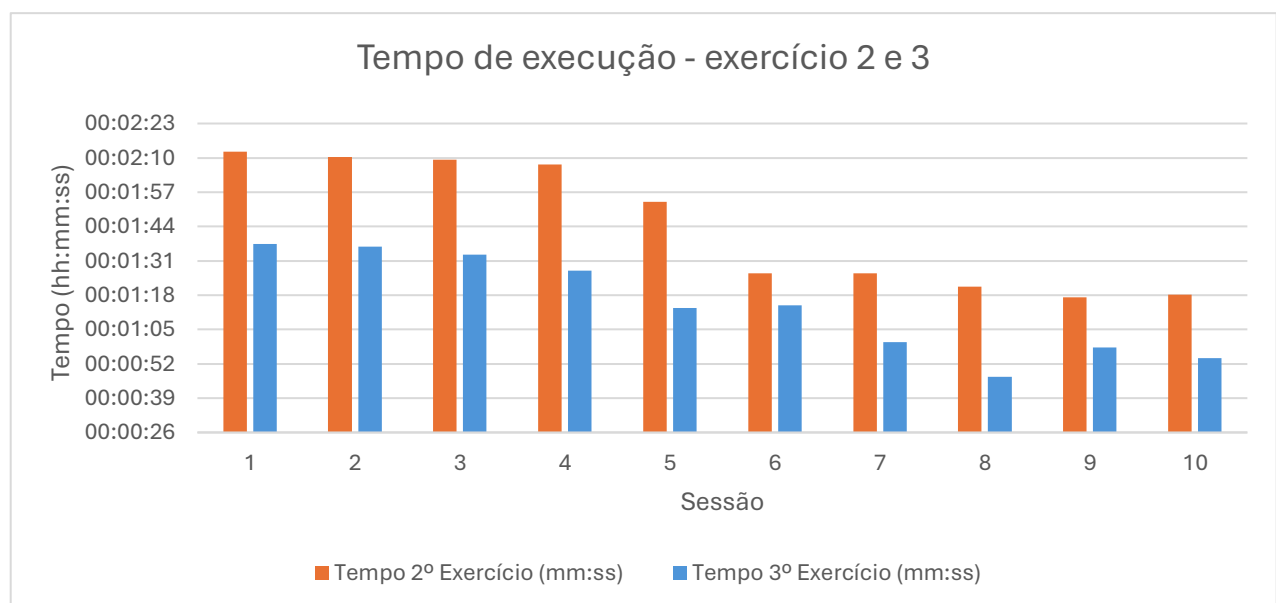


Tabela 5. Valores goniometria

| Articulação | Pré intervenção | Durante intervenção | Pós intervenção | 1 mês pós intervenção (follow up) |
|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Flexão Gleno-umeral | 116,2º | 124,6º | 132º | 131,4º |

- Cronometragem** dos exercícios do protocolo: O tempo foi a medida utilizada para cronometrar os exercícios 2 (figura 5) e 3 (figura 6) deste protocolo. No 2º exercício o cronometro começa quando a utente coloca o laser na posição indicada e inicia após a contagem decrescente. O tempo termina quando finaliza o laser na mesma posição ao fim de 5 contornos da figura. No exercício 3 o tempo inicia quando a utente coloca o laser no começo da figura e termina quando chegar ao mesmo ponto ao fim de 5 repetições do movimento pedido. Apesar de não existirem valores normativos para os exercícios 2 e 3 por terem sido criados especificamente para este estudo, a utente revelou diminuição do tempo de realização de cada exercício. Em 10 sessões apresentou uma melhoria de 56 e 43 segundos no 2º e 3º exercício, respetivamente, demonstrando maior facilidade de execução ao longo da intervenção.

Tabela 6. Tempo de execução exercício 2 e 3





- **Box and Block's Test:** O *box and blocks test* (BBT) é um teste utilizado para a destreza manual e a capacidade da mão e dos dedos de realizarem movimentos rápidos e coordenados, que estão diretamente relacionados com a funcionalidade da mão. O teste consiste numa caixa dividida por uma barreira, com blocos colocados do lado contrário à mão que está a ser testada. O participante tem 60 segundos para movimentar o maior número possível de blocos de um lado para o outro, utilizando apenas uma mão e transportando um bloco de cada vez. O número de blocos movidos é registado como indicador da capacidade funcional da mão testada.

O teste foi aplicado duas vezes pelo membro superior afetado. Podemos perceber que através deste teste é possível refletir sobre a capacidade do membro superior e do segmento da mão e dedos para realizar movimentos rápidos e coordenados, estando indiretamente relacionado com a velocidade de execução motora, uma vez que estes movimentos rápidos e coordenados refletem a eficiência do sistema motor em realizar estas ações.

Como valores normativos, este teste apresenta para população feminina dos 60–64 anos um valor médio de $73,6 \pm 6,4$ blocos por minuto na mão esquerda (Mathiowetz et al., 1985). Neste estudo, a utente não se encontra dentro dos valores normativos. Contudo, a utente ao longo de todas as fases de avaliação aumentou o número de blocos, indicando melhorias da destreza manual (Tabela 7).

Relativamente à fiabilidade deste teste este varia entre $ICC=0,89$ e $ICC=0,98$ (Desrosiers et al., 1994; Liang et al., 2021). Apesar de não estar validado para a população portuguesa, está validado para a população europeia (Oña et al., 2020).

Tabela 7. Valores BBT

| Tentativa | Pré intervenção | Durante intervenção | Pós intervenção | 1 mês pós intervenção (follow up) |
|-----------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | 40 blocos | 49 blocos | 53 blocos | 53 blocos |
| 2 | 43 blocos | 51 blocos | 53 blocos | 57 blocos |
| Média | 41,5 blocos | 50 blocos | 53 blocos | 55 blocos |

- **Psychomotor vigilance test (PVT):** O teste PVT tem sido utilizado nas últimas décadas como um teste de atenção sustentada. Este teste utiliza como medida o tempo de reação após um estímulo visual ou auditivo, intervalados aleatoriamente (Y. Lee et al., 2023). Este teste é utilizado para utentes com privação de sono, uma vez que a fadiga e a atenção sustentada são as principais manifestações clínicas. A duração padrão do PVT é de 10 min, contudo neste estudo foi usada a versão mais curta,



comm aproximadamente 4 minutos. Segundo Basner & Dinges (2011) tempos de reações superiores a 500ms são considerados erros de omissão ou lapsos.

Na primeira avaliação (PVT1) a utente cometeu 4 lapsos, procedendo 3 lapsos no PVT 2 e 3 e, por fim, no *follow up* a utente apresentou 5 erros de omissão. Por outro lado, nos 3 primeiros momentos de avaliação (PVT1, 2 e 3) a linha de tendência tem uma inclinação positiva e o PVT4 tem uma inclinação negativa. Este resultado sugere que a utente apresentou melhorias no *follow-up* dado que aumentou a atenção ao longo da execução do teste.

Para além disso, segundo a análise dos dados dos gráficos da tabela 8, procedeu-se à remoção de 1 *outlier* do PVT1, PVT2 e PVT4 (1076 ms, 1493 ms e 2484 ms, respetivamente). Este teste foi realizado através da aplicação *Millisecond da Inquisit 7* e foi completado no computador do avaliador.

Tabela 8. Média e gráficos do *Psychomotor Vigilance Test*

| Fase de intervenção | Média (ms) | Gráfico com linha de tendência |
|---------------------|------------|--------------------------------|
| Pré intervenção | 409,51 ms | |



| | |
|---|-------------|
| <p>Durante intervenção</p> <p>391,64 ms</p> | <p>PVT2</p> |
| <p>Pós intervenção</p> <p>393,85 ms</p> | <p>PVT3</p> |
| <p>1 mês pós intervenção (follow up)</p> <p>391,59 ms</p> | <p>PVT4</p> |



4.2. Perspetiva da utente

- Fatigue Assessment Scale (FAS) – versão portuguesa** – Esta escala tem como objetivo avaliar a fadiga crónica geral e é constituída por 10 questões (5 questões sobre fadiga física e 5 sobre fadiga mental) que tiveram por base quatro questionários: *Fatigue Scale*, *Cheklst Individual Strengh*t, *Maslach Burnout Inventorye* e a Subescala de Energia e fadiga da *World Health Organization Quality of Life Assessment (WHOQOL-BREF)*. Cada questão é avaliada numa escala de *Likert* de 1 a 5, sendo 1 *Nunca*; 2 *Algumas vezes* (mensalmente ou menos); 3 *Regularmente* (Algumas vezes por mês); 4 *Com frequênc*ia (Semanalmente) e 5 *Sempre* (Todos os dias). Na pontuação total é realizada a soma de todas as parcelas, sendo que a pergunta 4 e 10 a pontuação é invertida. A pontuação desta escala varia entre 10 e 50 sendo que é considerado fadiga pontuações entre 22 e 34, fadiga extrema ≥ 34 até 50. Pontuações entre 10 e 21 não é considerado fadiga.

A utente revela níveis de fadiga gradualmente menores durante a intervenção e follow-up não considera fadiga. Estes dados afirmam que a utente passou de um estado de fadiga para um estado sem fadiga, após o término da intervenção (Tabela 9).

Tabela 9. Resultado da FAS

| Fatigue Assessment Scale | 1º entrevista | 2º entrevista | 3º entrevista | 4º entrevista |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| A fadiga incomoda-me. | 3 | 4 | 3 | 2 |
| Fico cansado muito rapidamente. | 5 | 5 | 3 | 2 |
| Não faço muito durante o dia. | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Tenho energia suficiente para a vida do dia-a-dia. | 4 | 4 | 3 | 4 |
| Fisicamente, sinto-me exausto. | 5 | 2 | 2 | 2 |
| Tenho problemas em começar as tarefas | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tenho problemas em pensar com clareza | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Não tenho vontade de fazer nada | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Mentalmente, sinto-me exausto | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Quando estou a fazer algo, consigo concentrar-me bastante bem. | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Total | 24 | 25 | 22 | 18 |



- **Entrevista Semi-Estruturada** – A entrevista semi-estruturada foi criada pela equipa de investigação de modo a colmatar a baixa sensibilidade de outras escalas já existentes que avaliem a funcionalidade do utente e a perceção do mesmo em relação ao processo de recuperação em várias fases. Assim, o objetivo desta entrevista é obter dados de natureza qualitativa por parte da utente, não possível através de outros métodos de recolha de dados. É um método de recolha de dados de auto-relato para descrever a sua perceção de saúde, a funcionalidade da utente nas suas ocupações mais significativas, as suas expectativas em relação ao tratamento e que objetivos pretende alcançar. Este método de recolha de dados possibilita a quem aplica este método de recolha de dados uma maior compreensão sobre a evolução do utente, permitindo maior facilidade em adaptar e modificar o plano interventivo em conjunto com o utente. Para além disso, esta entrevista serve ao utente refletir a própria condição de saúde, que implicações tem no seu quotidiano e o que espera para o futuro. Esta entrevista está dividida em perceção de saúde (perceber se a perceção da saúde varia com a intervenção ou com a patologia), funcionalidade nas ocupações (ocupações do quotidiano mais significativas e que dificuldade apresenta na participação das mesmas) e, por fim, expectativas e objetivos (o que espera alcançar e que objetivos tem no quotidiano). É constituída por 3 momentos de avaliação: Avaliação inicial (pré intervenção), Avaliação Intermédia (pós intervenção) e Avaliação final (*follow up* de 1 mês).

A utente ao longo dos 3 momentos de avaliação revelou ter perceção sobre a sua própria saúde, referindo detalhes sobre como a sua sintomatologia mudou durante a intervenção. Não obstante no *follow up* perceber a sua condição de forma menos otimista “Ultimamente tenho tido dores e contraturas nas pernas, também não me está a ajudar, a utente refere que se encontra numa fase estável “de modo geral estou bem”. Para além disso, dado que os resultados consequentes da intervenção foram positivos, a sua expectativa foi-se ajustando ao longo dos 3 momentos de avaliação, criando uma auto-perceção de que as melhorias não foram muito significativas “Sim, apesar de sentir que certas coisas já não vão ser como .antes, eu acho que consigo levar a minha vida a melhorar pequenas coisas sempre diariamente”.

- **Avaliação inicial (pré intervenção)**

Perceção de saúde

1. Qual é a sua perceção de saúde?

“A saúde é poder andar, comer, trabalhar sem esforço e ter força para conseguir fazer isso”



2. Considera que tem saúde?

“Neste momento nem por isso, mas penso que há sempre alguém pior que eu neste momento”

3. O que é para si ter uma condição de saúde?

“É algo que não desejo a ninguém e que me faz sentir triste sempre que penso que tenho uma condição como esta”

4. Tendo em conta o que é para si a saúde, como distingue a sua saúde anteriormente ao AVC e a sua saúde agora?

“Eu antes tinha mais energia, maior motivação e mais vontade de viver certos momentos, faz falta momentos como tinha antes. Sinto falta de apoio médico pós AVC porque neste momento não tenho muita gente para me dizer o que tenho ao certo. Apesar do apoio dos meus filhos, sinto que as outras pessoas subvalorizam a minha condição, achando que o que eu tenho não é significativo”.

Funcionalidade nas ocupações

5. Quais as suas ocupações mais significativas?

Olhar pelo meu neto, fazer almoço e jantar, Ir ao cemitério, Ver filmes

6. Porquê é que são as mais significativas?

O neto enche-me o coração, gosto de cuidar dele e ter sentido de responsabilidade; O almoço e jantar acabam por ser como obrigação, mas quando preciso faço o almoço ou jantar para a minha família; Vou ao cemitério para rezar a morte do meu marido; Os filmes sempre foram um interesse meu, ficava relaxada a ver e o tempo passava.

7. Dentro dessas ocupações, que atividades ou tarefas apresenta mais dificuldade em executar?

“Em relação ao meu neto o mais complicado torna-se o mudar a fralda; no preparar o almoço o mais difícil é cortar a carne, descascar batatas torna-se cansativo ao fim de algum tempo; em relação à ida ao cemitério, por vezes o percurso torna-se mais cansativo que o expectável o que faz estar dependente de outros para a boleia; Eu agora já não consigo ver filmes porque distraio-me assim que começo a ver o filme e fico sem motivação para o fazer, parece que me canso só de olhar para a televisão.”

8. Indique as razões pelas quais apresenta dificuldades na execução dessas atividades e tarefas?



“Tenho falta de força no meu braço e na minha perna, às vezes dói-me o braço em alguns movimentos, o corpo não acompanha aquilo que a minha cabeça quer fazer, não sinto tanta resistência no meu corpo e perco o interesse em realizar algumas tarefas que requerem maior atenção”.

Expetativas e objetivos

9. Pretende recuperar a sua funcionalidade nessas ocupações?

“Pretendo recuperar da melhor forma possível”

10. Que expetativas tem na sua vida e na sua recuperação?

Pretendo ainda trabalhar na fábrica de madeiras e reformar quando tiver idade para isso, mas preciso de mais apoio médico e das pessoas para que isso aconteça”

- **Entrevista pós intervenção**

Perceção saúde

1. Qual é a sua perceção de saúde?

“É poder trabalhar, andar sem problema. Se pudesse fazer isso teria saúde”

2. Considera que tem saúde?

Sim, no geral tenho saúde. A comparar com outros, tenho saúde. Só faltam pequenas coisas que conseguia fazer antes sem dificuldade e que nem precisava de pensar para fazer essas coisas”

3. O que é para si ter uma condição de saúde?

“Foi o que me aconteceu, é algo que me deixa triste tanto pela opinião que as outras pessoas passam a ter de nós como também as limitações que ficam”

4. Tendo em conta o que é para si a saúde, como distingue a sua saúde anteriormente à intervenção e a sua saúde agora?

“Sinto que estou mais otimista na minha saúde e para o meu futuro. Antes estava numa fase de negação e agora vejo luz ao fundo do túnel”

Funcionalidade nas ocupações

5. Quais as suas ocupações mais significativas?

Olhar pelo meu neto, Fazer almoço e jantar, Ir ao cemitério, Ver filmes

6. Porquê é que são as mais significativas?

“As razões são as mesmas da outra vez”



7. Desde o início da intervenção, que diferenças tem sentido no desempenho de atividades e tarefas nessas ocupações?

“Em relação em ir ao cemitério, fiquei mais autónoma, sou capaz de arriscar e fazer mais coisas sozinha, com confiança e coragem e sem medo porque sinto que estou ligeiramente melhor.

No cozinhar sinto que apesar das dificuldades na motricidade mais fina, sinto que cozinho e alimento-me sem sentir tanto cansaço e preciso de fazer menos pausas. O meu braço parece que está mais leve. Agora não quero que me ajudem a levantar a mesa, prefiro ser eu.

Apesar de ser ainda difícil trocar a fralda ao meu neto, consigo sentir cada vez mais facilidade ao longo dos dias. É mais fácil de o pentear, de dar de comer e sinto que já dou bem a conta do recado. Relativamente a ver os filmes que via anteriormente, é que ainda tenho dificuldade porque o interesse não tem sido tanto e não tenho tanta vontade”.

8. Dentro dessas ocupações, continua a ter dificuldade em executar atividades ou tarefas mencionadas anteriormente?

“Foi o que fui dizendo anteriormente, as dificuldades têm diminuído, mas ainda não está a 100% e por vezes também sinto o cansaço que ainda não me permite fazer as coisas como antes do AVC”

9. Indique as razões pelas quais apresenta dificuldades na execução dessas atividades e tarefas?

“Ultimamente sinto que a dificuldade não é do braço como antes da intervenção. Agora a maior dificuldade está na mão a fazer coisas mais minuciosas. Por vezes ainda tenho algumas dores do ombro, mas não me limitam tanto. Em relação aos filmes, simplesmente perco-me a vê-los e não tenho vontade, não sei explicar”

10. Pretende recuperar a sua funcionalidade nessas ocupações?

Sim, gostava de melhorar em todos os aspetos e melhorar a minha vida.

Expetativas e objetivos

11. Sente que as suas expetativas e os seus objetivos foram alcançados?

O meu maior objetivo é conseguir trabalhar antes de começar a reforma. Ainda me faltam 3 anos e quero ainda ser útil para a empresa. Sinto que já poderia começar a trabalhar com algumas pausas ao longo do dia, mas ainda tenho medo porque estou habituada a trabalhar com algumas máquinas perigosas que podem pôr a minha saúde ainda mais em risco”.



○ **Entrevista 1 mês pós término da intervenção**

Perceção saúde

1. Qual é a sua perceção de saúde?

Poder andar, fazer de comer, olhar para a vida, ter tudo em condições sem dores.

2. Considera que tem saúde?

No geral está tudo bem, mas ainda me sinto um pouco não saudável mais pelas fraquezas ainda associadas ao AVC. Se calhar amanhã já penso de uma forma mais positiva, mas acabo por refletir muito sobre o que ainda tenho. Ultimamente tenho tido dores e contraturas nas pernas, também não me está a ajudar.

3. O que é para si ter uma condição de saúde?

É igual à da outra vez, iria responder igual, mas com palavras diferentes.

4. Tendo em conta o que é para si a saúde, como distingue a sua saúde anteriormente à intervenção e a sua saúde agora?

Eu não estou pior, a intervenção foi me ajudando muito, o único problema é que sinto que não tenho acompanhamento e isso mexe comigo. Tem sido difícil marcar consultas e ter respostas concretas. Em relação à intervenção, ela ajudou-me muito ao fazer sentir o meu braço mais leve para fazer mais coisas, o único problema agora é o meu pensamento sobre as coisas e o futuro.

Funcionalidade nas ocupações

1. Quais as suas ocupações mais significativas?

Iguais

2. Porquê é que são as mais significativas?

Igual

3. Desde a última avaliação, que diferenças tem sentido no desempenho de atividades e tarefas nessas ocupações?

Consigo fazer melhor, tenho mais motivação, consigo cortar melhor os alimentos, já faço um corte mais direito. Em relação ao meu neto, também sinto que já faço mais coisas que não fazia. Em relação ao cemitério, apesar de ter tido algumas dores nas pernas, sinto que já está melhor e que os meus pensamentos estão mais positivos em relação a isto. Em relação a ver filmes, não tenho visto, mas comecei a ver novelas e consigo ver até ao fim. Se tivesse sido antes da intervenção, acho que não conseguia ver as novelas, porque não me conseguia concentrar.



4. Dentro dessas ocupações, continua a ter dificuldade em executar atividades ou tarefas mencionadas anteriormente?

Ainda tenho algumas, mas tenho-me adaptado às dificuldades.

5. Indique as razões pelas quais apresenta dificuldades na execução dessas atividades e tarefas?

É mais pelo cansaço nas pernas e por vezes algumas atividades de motricidade fina (abotoar algumas camisolas do meu neto) e de vez em quando alguns pensamentos em relação ao meu futuro que me possa desmotivar a fazer algumas coisas, mas é só de vez em quando.

6. Pretende recuperar a sua funcionalidade nessas ocupações?

Sim, apesar de sentir que certas coisas já não vão ser como antes, eu acho que consigo levar a minha vida a melhorar pequenas coisas sempre diariamente.

Expetativas e objetivos

1. Sente que as suas expetativas e os seus objetivos foram alcançados mesmo após 1 mês da intervenção?

Eu acho que sim, não posso dizer que não tenho a minha vida normal apesar das dificuldades que disse anteriormente, faço tudo o que quis fazer, apesar de não a trabalhar no que trabalhava, tenho ido à fábrica só limpar algumas máquinas, mas sem trabalhar com elas com medo de cortar a minha mão.

5. Discussão

Neste estudo os resultados indicam efeitos benéficos da combinação da estimulação transcraniana por corrente elétrica e treino assistido por robô colaborativo na funcionalidade do membro superior numa utente com AVC crónico. Os resultados foram positivos ao longo das 4 fases de avaliação e mantiveram-se até follow-up na Goniometria, Dinamometria, *Psychomotor Vigilance test*, *Box and Block's test* e *Fatigue Assessement Scale (FAS)* e no método de recolha de dados qualitativo através da aplicação da entrevista semiestruturada.

Os resultados positivos e a auto-perceção de melhoria podem ser explicados pelo aumento da excitabilidade cortical do córtex M1 ipsilesional e inibição do córtex M1 contralesional através da tDCS e pela combinação com os exercícios adequados à condição e aptidão física e cognitiva da utente através do robô (Allman et al., 2016; Edwards et al., 2009; Pai et al., 2018).



A recuperação e reaprendizagem motora dependem maioritariamente de processos cognitivos de aprendizagem, tais como participação ativa e motivada (Potdevin et al., 2018; Wulf & Lewthwaite, 2016), possibilidade de cometer erros (Feulner et al., 2025; Taylor & Ivry, 2012) e observar os mesmos, controlo postural (Wei et al., 2025), memória (J. Zhao et al., 2024), *biofeedback* (Reddy, 2025) e características da intervenção (duração, número de repetições, recuperação da fadiga) (Lang et al., 2009; McCabe et al., 2015).

Desta forma, o uso da tDCS como mecanismo de indução de um estado de prontidão neuroplástica pode ser potenciadora dos efeitos do uso do robô. Vários autores consideram que a estimulação elétrica pode promover mecanismos neuroplásticos através da potenciação a longo prazo, argumentando que pode ser complementada com o treino motor e cognitivo para promoção de plasticidade neuronal (Bolognini et al., 2009; Monte-Silva et al., 2013; Parasuraman & McKinley, 2014; Simis et al., 2013). Adicionalmente, a ativação de processos neuroplásticos por meio da estimulação constitui um mecanismo facilitador da aprendizagem motora, sobretudo quando combinada com os fatores anteriormente mencionados (Allman et al., 2016; Pai et al., 2018)

A dosagem de movimento é importante para a reaprendizagem e controlo do movimento sem perceção de fadiga elevada (Lang et al., 2009). A amplitude de movimento associado a cada um dos exercícios, o número de repetições, o tempo de repouso entre cada exercício e a força oposta criada pelo robô são variáveis relevantes para o resultado da intervenção, apesar de não existir nenhum protocolo estandardizado (Lang et al., 2009, 2015).

Para além disso, tal como usado no presente estudo, (S. H. Lee et al., 2020b) revela melhores *outcomes* funcionais e melhor participação nas atividades afetado quando na intervenção é usado o robô *end-effector*, comparativamente com o robô exoesqueleto para o membro superior.

Na tabela 4, a utente apresentou melhoria na força da preensão palmar ao longo das três primeiras fases de avaliação e manteve-se no follow-up. A melhoria pode ser explicada pelo protocolo executado que indiretamente promove a preensão palmar isométrica realizada pela utente para mover o braço do robô durante o tempo de execução dos exercícios. Num estudo de (Schaufler et al., 1978) foram executados exercícios isométricos em 35 mãos reumáticas diariamente durante quatro meses, das quais 28 apresentaram aumento de força de preensão palmar. Além disso, num estudo sobre a diferença de exercícios isotónicos vs exercícios isométricos em praticantes amadores de *kickbox* revelaram um aumento da preensão palmar significativo após duas semanas quando comparado com o treino isotónico (Wang & Hu, 2025). Outra hipótese para o aumento do valor da dinamometria é o aumento do controlo da cintura escapular através do feedback verbal e tátil dado pelo investigador ao longo da execução dos



exercícios. Kachantu refere que utentes com *Impingement* do ombro, causados maioritariamente por instabilidade da estrutura, apresentam diminuição da força da preensão palmar isométrica. Após um protocolo de estabilidade da articulação glenomerar, verificou-se aumento dos valores da dinamometria (Kachanathu et al., 2019).

O resultado da dinamometria manteve-se até ao follow-up revelando que a força de preensão palmar se manteve mesmo após a cessão do protocolo interventivo. A manutenção da força pode ser explicada pelo aumento da participação em atividades da vida diária (AVD) e instrumentais (AVDI's) que permitem o movimento e reforço dos músculos que potenciam a preensão palmar, tais como cozinhar e cuidar do seu neto. Por outro lado, apesar de não ser possível verificar no presente estudo se a utente desenvolveu maior força de preensão palmar por aumento da participação nas AVD's ou se começou a participar mais nas AVD's devido ao aumento de força de preensão, vários estudos verificam que a força de preensão palmar está associada a um maior envolvimento nas AVD's. Num estudo realizado por (Bae et al., 2015) refere que a força de preensão palmar e digital está associada à independência nas AVD's, ou seja, indivíduos com AVC crónico com maior preensão palmar e digital em ambas as mãos têm uma participação mais ativa nas AVD's. Este estudo corrobora com a o aumento da funcionalidade da utente referida na entrevista semiestruturada "Consigo fazer melhor, tenho mais motivação, consigo cortar melhor os alimentos, já faço um corte mais direito. Em relação ao meu neto, também sinto que já faço mais coisas que não fazia. (sic)"

Em relação à destreza manual, avaliada através do BBT, a utente revelou melhorias significativas até ao momento de avaliação *follow up*. De acordo com o estudo de Straudi, a combinação da tDCS com a terapia assistida por robô melhorou a destreza manual global de um grupo de 23 utentes com AVC. Neste estudo, os resultados do BBT não foram significativos entre a tDCS anódica e a *Sham*. Isto pode ser explicado pela divergência na localização da lesão cortical, pela intervenção assistida pelo robô e pela individualidade de cada paciente (Straudi et al., 2016). Yadav, com a aplicação de um protocolo de exercícios de estabilização escapular em utentes com Guillian-Barré revelou um aumento significativo da funcionalidade da mão avaliado pelo BBT (Yadav & Kanase, 2025). O aumento da destreza manual global verificado no BBT corrobora com o aumento da funcionalidade da utente na preparação dos alimentos e das refeições "..., tenho mais motivação, consigo cortar melhor os alimentos, já faço um corte mais direito (sic)".

Os resultados alcançados através da medição do tempo de execução dos exercícios 2 e 3 (tabela 6) podem ser explicados pelo efeito de aprendizagem por repetição do movimento, também facilitados pela ativação dos processos neuroplásticos supramencionados. Numa revisão sistemática e meta-



análise de Kang et al., (2016) investigou-se o efeito de aprendizagem ao longo do tempo em utentes de AVC agudo e crónico combinado com o treino motor. A análise dos 17 estudos da tabela 1 revelou benefícios na aprendizagem do movimento voluntário a longo prazo em utentes AVC crónicos e agudos.

Tal como descrito anteriormente, os indivíduos com AVC podem sofrer de défices motores e cognitivos. Pacientes com AVC apresentem níveis de fadiga e de depressão mais elevados que indivíduos saudáveis e conseqüentemente níveis menores de atenção sustentada avaliada através do PVT (Pearce et al., 2016). Para além disso, foi encontrada uma correlação entre a reduzida funcionalidade de um utente com AVC e níveis baixos de atenção sustentada, o que pode refletir noutra razão para o aumento da participação do presente caso nas suas AVD's após a intervenção (Barker-Collo et al., 2010). No presente estudo, a utente aumentou os seus níveis de atenção sustentada até ao follow-up. Este aumento de níveis de atenção descritos na tabela 8 ao longo da tarefa ratifica o relato da utente na entrevista semi-estruturada sobre a capacidade de ver novelas até ao fim, "Em relação a ver filmes, não tenho visto, mas comecei a ver novelas e consigo ver até ao fim. Se tivesse sido antes da intervenção, acho que não conseguia ver as novelas, porque não me conseguia concentrar (sic)"

Os dados qualitativos revelam que a utente ao longo da intervenção foi sentindo maior motivação e capacidade para participar nas tarefas do quotidiano. Um dos sintomas mais incapacitantes sentido pela utente era a sensação de "braço pesado", sendo que após a primeira intervenção sentiu um alívio por 2 horas e após a segunda intervenção deixou de sentir esse sintoma permanentemente. Um estudo de (Chen et al., 2022) revela que utentes com sensação de "braço pesado" têm pior adesão ao tratamento prescrito. Desta forma, tal como referido pela utente, na questão 7 da entrevista pós intervenção "O meu braço parece que está mais leve (sic)", após o desaparecimento do sintoma, a sua participação nas tarefas do quotidiano foi gradualmente maior.

Em relação à *Fatigue Assessment Scale*, nos parâmetros "A fadiga incomoda-me", "Fico cansado muito rapidamente", "Fisicamente, sinto-me exausto" e "Mentalmente, sinto-me exausto", os resultados do *follow up* revelam melhoria em relação à primeira avaliação. Este resultado pode ser explicado pela relação entre a sensação de "braço pesado" e a sensação de fadiga descrita no estudo de Kuppuswamy et al., (2016). Num estudo previamente realizado pelo mesmo autor, através da Estimulação Magnética Transcraniana (TMS) foi possível afirmar que utentes com AVC que reportam elevados níveis de fadiga, têm maior dificuldade em gerar uma resposta motora através da TMS comparativamente com utentes com menores níveis de fadiga reportados (Kuppuswamy et al., 2015). Essa dificuldade que contribui para um *threshold* maior da TMS em indivíduos com níveis de fadiga mais elevado, também pode ser explicada pela excitabilidade cortical reduzida (Kuppuswamy et al., 2015). Além disso, níveis elevados de



inibição intracortical podem potencialmente levar a um menor número de respostas do Córtex M1 afetado, ou seja, sobreviventes de AVC com fadiga elevada podem apresentar níveis elevados de inibição intracortical e conseqüentemente menor funcionalidade no membro superior contralateral à lesão (Kujirai et al., 1993).

Atualmente, existem poucos estudos sobre o efeito da tDCS na fadiga, contudo num estudo de Ferrucci et al. (2014) os níveis de fadiga diminuíram em 65% dos seus utentes após 5 dias de estimulação anódica do córtex motor primário.

Em suma, o robô colaborativo UR5 e a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) podem ser caracterizados como tecnologias assistivas a que este estudo recorreu, uma vez que são tecnologias que procuram compensar limitações funcionais do paciente e promover a sua autonomia. A Organização Mundial da Saúde, define tecnologias assistivas como produtos e/ou sistemas que ajudam a manter ou a melhorar a funcionalidade e independência de pessoas com deficiência. Assim, este trabalho recorre a uma estratégia inovadora, centrada no paciente. Potencia a personalização do apoio à reabilitação motora e ocupacional, para melhor auxiliar contextos do dia-a-dia.

O robô colaborativo permitiu uma execução repetitiva e consistente dos movimentos terapêuticos, ajustados ao desempenho da paciente. Embora o sistema permita registo contínuo dos movimentos, esta funcionalidade não foi convenientemente explorada, representando uma limitação metodológica no presente estudo. Mas abre espaço para trabalhos futuros que explorem essa potencialidade como ferramenta de monitorização e análise da evolução funcional, permitindo uma abordagem mais detalhada dos dados na reabilitação pós-AVC

Limitações

Este estudo apresenta algumas limitações. Primeiramente, este estudo é em formato de estudo de caso, ou seja, a variabilidade de cada indivíduo pode determinar os efeitos pretendidos neste estudo. Para além disso, sendo um estudo de caso não é possível comparar os efeitos da tDCS com a terapia assistida pelo robô noutras pessoas com diferentes características, tornando impossível determinar a eficácia deste protocolo noutros indivíduos. Outra limitação presente neste estudo baseia-se sobre os efeitos inconclusivos a longo prazo, uma vez que o follow-up foi realizado 1 mês depois do término da intervenção, o que pode limitar a compreensão dos efeitos da tDCS combinado com a terapia assistida com o robô em períodos mais prolongados no AVC. Em relação à tDCS, não é possível garantir que os efeitos observados sejam exclusivamente da estimulação do córtex motor primário, sendo possível que



outras regiões importantes para o comportamento motor também tenham sido estimuladas, como por exemplo o córtex pré-motor e o córtex motor suplementar.

Para além disso, não é possível verificar se os resultados obtidos são causados pela terapia assistida pelo robô, pela tDCS ou pela combinação de ambos. Por fim, e inexistência de um protocolo uniformizado sobre a tDCS combinada com a terapia assistida pelo robô dificulta a comparação direta com estudos já existentes.

Estudos futuros

Tendo em conta as limitações presentes neste estudo, é recomendado para investigações futuras estudar o impacto da tDCS combinado com a terapia assistida por robô numa amostra maior para verificar a pertinência da intervenção em indivíduos diferentes. O uso de medidas para avaliar a excitabilidade cortical ou o estado de repouso cortical para perceber os efeitos da estimulação nos processos de reorganização cortical será um parâmetro importante a ser usado em estudos futuros. Para além disso, seria interessante o uso de diferentes estimulações da tDCS (tDCS *sham* e dual-tDCS) e comparação com um grupo sem estimulação (grupo de controlo) de modo a verificar a influência da tDCS num protocolo com terapia assistida por robô num AVC crónico. Por fim, seria necessário estudar o efeito desta intervenção em efeitos mais prolongados, por exemplo 6 a 12 meses após o término da intervenção.

6. Conclusão

Os resultados deste estudo de caso indicam que a combinação de estimulação transcraniana por corrente contínua (Dual-tDCS) com um protocolo de exercícios assistidos por robô colaborativo teve um impacto positivo na funcionalidade motora do membro superior, na atenção sustentada e na participação ocupacional da participante com AVC crónico em contexto domiciliário. Observou-se uma melhoria consistente nos testes de destreza manual (*Box and Block's Test*), força de preensão (Dinamometria), amplitude articular (Goniometria), fadiga (FAS) e vigilância psicomotora (PVT), bem como um relato qualitativo de maior autonomia e envolvimento nas atividades diárias.

Estes resultados sugerem que a aplicação da tDCS combinada com a terapia assistida pelo robô pode representar uma abordagem promissora para potenciar a recuperação funcional em pacientes com AVC crónico na terapia ocupacional, promovendo funcionalidade e maior participação as ocupações do dia-a-dia. Desta forma, a combinação destas duas abordagens pode ser uma abordagem a ser explorada



no futuro. Ainda assim, a tDCS e a terapia assistida pelo robô é de difícil implementação nas unidades de medicina e reabilitação física pelo preço dos equipamentos e pelo desconhecimento destas abordagens tanto nos profissionais de saúde, como nos utentes. Em suma, recomenda-se cautela na interpretação dos resultados devido à limitação inerente ao desenho de estudo de caso único. Estudos futuros com amostras maiores e ensaios controlados randomizados são necessários para confirmar a eficácia e replicar estes achados.



Ética e Consentimento Informado

O estudo foi aceite pela Comissão de ética da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto (CE002B, aprovado em 23 de abril de 2025). Conforme o exigido pela Declaração de Helsínquia da Associação Médica Mundial, a utente leu o formulário de participação do estudo. Neste formulário detalhava o objetivo e métodos do estudo e informava que o participante poderia revogar o seu consentimento a qualquer momento.



7. Referências bibliográficas

- Abualait, T. S. (2020). Effects of transcranial direct current stimulation of primary motor cortex on cortical sensory deficits and hand dexterity in a patient with stroke: A case study. *The Journal of International Medical Research*, 48(4), 300060519894137. <https://doi.org/10.1177/0300060519894137>
- Ahmed, I., Yeldan, I., & Mustafaoglu, R. (2022). The Adjunct of Electric Neurostimulation to Rehabilitation Approaches in Upper Limb Stroke Rehabilitation: A Systematic Review With Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Neuromodulation: Journal of the International Neuromodulation Society*, 25(8), 1197–1214. <https://doi.org/10.1016/j.neurom.2022.01.005>
- Allman, C., Amadi, U., Winkler, A. M., Wilkins, L., Filippini, N., Kischka, U., Stagg, C. J., & Johansen-Berg, H. (2016). Ipsilesional anodal tDCS enhances the functional benefits of rehabilitation in patients after stroke. *Science translational medicine*, 8(330), 330re1. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aad5651>
- American Stroke Association. (2025). *Transient Ischemic Attack (TIA)*. <https://www.stroke.org/en/about-stroke/types-of-stroke/tia-transient-ischemic-attack>
- Ang, K. K., Guan, C., Phua, K. S., Wang, C., Teh, I., Chen, C. W., & Chew, E. (2012). Transcranial direct current stimulation and EEG-based motor imagery BCI for upper limb stroke rehabilitation. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2012*, 4128–4131. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346875>
- Ang, K. K., Guan, C., Phua, K. S., Wang, C., Zhao, L., Teo, W. P., Chen, C., Ng, Y. S., & Chew, E. (2015). Facilitating effects of transcranial direct current stimulation on motor imagery brain-computer interface with robotic feedback for stroke rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(3 Suppl), S79–87. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.08.008>
- Antal, A., Alekseichuk, I., Bikson, M., Brockmüller, J., Brunoni, A. R., Chen, R., Cohen, L. G., Douthwaite, G., Ellrich, J., Flöel, A., Fregni, F., George, M. S., Hamilton, R., Haueisen, J., Herrmann, C. S., Hummel, F. C., Lefaucheur, J. P., Liebetanz, D., Loo, C. K., ... Paulus, W. (2017). Low intensity transcranial electric stimulation: Safety, ethical, legal regulatory and application guidelines. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 128(9), 1774–1809. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.06.001>



- Bae, J. H., Kang, S. H., Seo, K. M., Kim, D.-K., Shin, H. I., & Shin, H. E. (2015). Relationship Between Grip and Pinch Strength and Activities of Daily Living in Stroke Patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 39(5), 752–762. <https://doi.org/10.5535/arm.2015.39.5.752>
- Bamford, J., Sandercock, P., Dennis, M., Burn, J., & Warlow, C. (1991). Classification and natural history of clinically identifiable subtypes of cerebral infarction. *Lancet (London, England)*, 337(8756), 1521–1526. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)93206-o](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)93206-o)
- Barker-Collo, S. L., Feigin, V. L., Lawes, C. M. M., Parag, V., & Senior, H. (2010). Attention deficits after incident stroke in the acute period: Frequency across types of attention and relationships to patient characteristics and functional outcomes. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 17(6), 463–476. <https://doi.org/10.1310/tsr1706-463>
- Basner, M., & Dinges, D. F. (2011). Maximizing sensitivity of the psychomotor vigilance test (PVT) to sleep loss. *Sleep*, 34(5), 581–591. <https://doi.org/10.1093/sleep/34.5.581>
- Batsikadze, G., Moliadze, V., Paulus, W., Kuo, M.-F., & Nitsche, M. A. (2013). Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans. *The Journal of Physiology*, 591(7), 1987–2000. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.249730>
- Beghi, E., Bogliun, G., Cavaletti, G., Sanguineti, I., Tagliabue, M., Agostoni, F., & Macchi, I. (1989). Hemorrhagic infarction: Risk factors, clinical and tomographic features, and outcome. A case-control study. *Acta Neurologica Scandinavica*, 80(3), 226–231. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1989.tb03867.x>
- Bloom, J. S., & Hynd, G. W. (2005). The role of the corpus callosum in interhemispheric transfer of information: Excitation or inhibition? *Neuropsychology Review*, 15(2), 59–71. <https://doi.org/10.1007/s11065-005-6252-y>
- Bluher, A., Devan, W. J., Holliday, E. G., Nalls, M., Parolo, S., Bione, S., Giese, A. K., Boncoraglio, G. B., Maguire, J. M., Müller-Nurasyid, M., Gieger, C., Meschia, J. F., Rosand, J., Rolfs, A., Kittner, S. J., Mitchell, B. D., O'Connell, J. R., & Cheng, Y. C. (2015). Heritability of young- and old-onset ischaemic stroke. *European Journal of Neurology*, 22(11), 1488–1491. <https://doi.org/10.1111/ene.12827>
- Boddington, L. J., & Reynolds, J. N. J. (2017). Targeting interhemispheric inhibition with neuromodulation to enhance stroke rehabilitation. *Brain Stimulation*, 10(2), 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.01.006>
- Bolognini, N., Pascual-Leone, A., & Fregni, F. (2009). Using non-invasive brain stimulation to augment motor training-induced plasticity. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 6, 8. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-8>



- Butler, A. J., Shuster, M., O'Hara, E., Hurley, K., Middlebrooks, D., & Guilkey, K. (2013). A meta-analysis of the efficacy of anodal transcranial direct current stimulation for upper limb motor recovery in stroke survivors. *Journal of Hand Therapy*, *26*(2), 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2012.07.002>
- Cabrera-Martos, I., Ortiz-Rubio, A., Torres-Sánchez, I., López-López, L., Jarrar, M., & Valenza, M. C. (2020). The Effectiveness of Core Exercising for Postural Control in Patients with Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, *12*(11), 1157–1168. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12330>
- Campos, C., Rocha, N. B., & Sá, C. (2023). *Estimulação transcraniana por corrente contínua: Fundamentos teóricos, guião prático & aplicação na doença mental e neurológica*. ESS | P. PORTO Edições. <http://hdl.handle.net/10400.22/23250>
- Cano de la Cuerda, R., & Collado Vázquez, S. (2012). *Neurorrehabilitación*. Editorial Médica Panamericana.
- Chen, Y., Yang, H., Chen, Y., Wei, H., & Lan, M. (2022). Limb heaviness as a sensorimotor disorder alters rehabilitation adherence after a stroke. *Frontiers in Neurology*, *13*, 840808. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.840808>
- Cheng, X.-P., Wang, Z.-D., Zhou, Y.-Z., Zhan, L.-Q., Wu, D., Xie, L.-L., Luo, K.-L., He, J.-P., Lin, W., Ni, J., Lv, L., & Chen, X.-Y. (2024). Effect of tDCS combined with virtual reality for post-stroke cognitive impairment: A randomized controlled trial study protocol. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, *24*(1), 349. <https://doi.org/10.1186/s12906-024-04658-0>
- Chien, W.-T., Chong, Y.-Y., Tse, M.-K., Chien, C.-W., & Cheng, H.-Y. (2020). Robot-assisted therapy for upper-limb rehabilitation in subacute stroke patients: A systematic review and meta-analysis. *Brain and Behavior*, *10*(8), e01742. <https://doi.org/10.1002/brb3.1742>
- Chrysaftides, S. M., Bordes, S. J., & Sharma, S. (2025). Physiology, Resting Potential. Em *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538338/>
- Cook, N. D. (1984). Homotopic callosal inhibition. *Brain and Language*, *23*(1), 116–125. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(84\)90010-5](https://doi.org/10.1016/0093-934X(84)90010-5)
- Dehem, S., Gilliaux, M., Lejeune, T., Delaunois, E., Mbonda, P., Vandermeeren, Y., Detrembleur, C., & Stoquart, G. (2018). Effectiveness of a single session of dual-transcranial direct current stimulation in combination with upper limb robotic-assisted rehabilitation in chronic stroke patients: A randomized, double-blind, cross-over study. *International Journal of Rehabilitation Research. Internationale Zeitschrift Fur Rehabilitationsforschung. Revue Internationale De Recherches De Readaptation*, *41*(2), 138–145. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000274>



- Desrosiers, J., Bravo, G., Hébert, R., Dutil, E., & Mercier, L. (1994). Validation of the Box and Block Test as a measure of dexterity of elderly people: Reliability, validity, and norms studies. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75(7), 751–755.
- Devan, W. J., Falcone, G. J., Anderson, C. D., Jagiella, J. M., Schmidt, H., Hansen, B. M., Jimenez-Conde, J., Giralt-Steinhauer, E., Cuadrado-Godia, E., Soriano, C., Ayres, A. M., Schwab, K., Kassis, S. B., Valant, V., Pera, J., Urbanik, A., Viswanathan, A., Rost, N. S., Goldstein, J. N., ... International Stroke Genetics Consortium. (2013). Heritability estimates identify a substantial genetic contribution to risk and outcome of intracerebral hemorrhage. *Stroke*, 44(6), 1578–1583. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.000089>
- D’Imperio, D., Romeo, Z., Maistrello, L., Durgoni, E., Della Pietà, C., De Filippo De Grazia, M., Meneghello, F., Turolla, A., & Zorzi, M. (2021). Sensorimotor, Attentional, and Neuroanatomical Predictors of Upper Limb Motor Deficits and Rehabilitation Outcome after Stroke. *Neural Plasticity*, 2021, 8845685. <https://doi.org/10.1155/2021/8845685>
- Edmans, J. (2017). *Occupational Therapy and Stroke* (Second Edition). Wiley-Blackwell.
- Edwards, D. J., Cortes, M., Rykman-Peltz, A., Chang, J., Elder, J., Thickbroom, G., Mariman, J. J., Gerber, L. M., Oromendia, C., Krebs, H. I., Fregni, F., Volpe, B. T., & Pascual-Leone, A. (2019). Clinical improvement with intensive robot-assisted arm training in chronic stroke is unchanged by supplementary tDCS. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 37(2), 167–180. <https://doi.org/10.3233/RNN-180869>
- Edwards, D. J., Krebs, H. I., Rykman, A., Zipse, J., Thickbroom, G. W., Mastaglia, F. L., Pascual-Leone, A., & Volpe, B. T. (2009). Raised corticomotor excitability of M1 forearm area following anodal tDCS is sustained during robotic wrist therapy in chronic stroke. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27(3), 199–207. <https://doi.org/10.3233/RNN-2009-0470>
- El Hussein, N., Katzan, I. L., Rost, N. S., Blake, M. L., Byun, E., Pendlebury, S. T., Aparicio, H. J., Marquine, M. J., Gottesman, R. F., Smith, E. E., & on behalf of the American Heart Association Stroke Council; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; Council on Cardiovascular Radiology and Intervention; Council on Hypertension; and Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health. (2023). Cognitive Impairment After Ischemic and Hemorrhagic Stroke: A Scientific Statement From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 54(6), e272–e291. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000430>
- Elsner, B., Kwakkel, G., Kugler, J., & Mehrholz, J. (2017). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for improving capacity in activities and arm function after stroke: A network meta-analysis of



- randomised controlled trials. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 14(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0301-7>
- Eraifej, J., Clark, W., France, B., Desando, S., & Moore, D. (2017). Effectiveness of upper limb functional electrical stimulation after stroke for the improvement of activities of daily living and motor function: A systematic review and meta-analysis. *Systematic Reviews*, 6(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s13643-017-0435-5>
- F. Lucca, L., Castelli, E., & G. Sannita, W. (2009). The application of robotics in the functional motor recovery of the paretic upper limb. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(12). <http://www.medicaljournals.se/jrm/content/abstract/10.2340/00015555-2>
- Feigin, V. L., Abate, M. D., Abate, Y. H., ElHafeez, S. A., Abd-Allah, F., Abdelalim, A., Abdelkader, A., Abdelmasseh, M., Abd-Elsalam, S., Abdi, P., Abdollahi, A., Abdoun, M., Abd-Rabu, R., Abdullah, D. M., Abdullahi, A., Abebe, M., Zuñiga, R. A. A., Abhilash, E. S., Abiodun, O. O., ... Murray, C. J. L. (2024). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2021: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Neurology*, 23(10), 973–1003. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(24\)00369-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(24)00369-7)
- Feigin, V. L., Brainin, M., Norrving, B., Martins, S. O., Pandian, J., Lindsay, P., F Grupper, M., & Rautalin, I. (2025). World Stroke Organization: Global Stroke Fact Sheet 2025. *International Journal of Stroke*, 20(2), 132–144. <https://doi.org/10.1177/17474930241308142>
- Ferrucci, R., Vergari, M., Cogiமானian, F., Bocci, T., Ciocca, M., Tomasini, E., De Riz, M., Scarpini, E., & Priori, A. (2014). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for fatigue in multiple sclerosis. *NeuroRehabilitation*, 34(1), 121–127. <https://doi.org/10.3233/NRE-131019>
- Feulner, B., Perich, M. G., Miller, L. E., Clopath, C., & Gallego, J. A. (2025). A neural implementation model of feedback-based motor learning. *Nature Communications*, 16(1), 1805. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54738-5>
- Flossmann, E., Schulz, U. G. R., & Rothwell, P. M. (2004). Systematic review of methods and results of studies of the genetic epidemiology of ischemic stroke. *Stroke*, 35(1), 212–227. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000107187.84390.AA>
- Fregni, F., El-Hagrassy, M. M., Pacheco-Barrios, K., Carvalho, S., Leite, J., Simis, M., Brunelin, J., Nakamura-Palacios, E. M., Marangolo, P., Venkatasubramanian, G., San-Juan, D., Caumo, W., Bikson, M., Brunoni, A. R., & Neuromodulation Center Working Group. (2021). Evidence-Based Guidelines and Secondary Meta-Analysis for the Use of Transcranial Direct Current Stimulation in Neurological and



- Psychiatric Disorders. *The International Journal of Neuropsychopharmacology*, 24(4), 256–313.
<https://doi.org/10.1093/ijnp/pyaa051>
- Garrido M, M., Álvarez E, E., Acevedo P, F., Moyano V, Á., Castillo N, N., & Cavada Ch, G. (2023a). Early transcranial direct current stimulation with modified constraint-induced movement therapy for motor and functional upper limb recovery in hospitalized patients with stroke: A randomized, multicentre, double-blind, clinical trial. *Brain Stimulation*, 16(1), 40–47.
<https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.12.008>
- Garrido M, M., Álvarez E, E., Acevedo P, F., Moyano V, Á., Castillo N, N., & Cavada Ch, G. (2023b). Early transcranial direct current stimulation with modified constraint-induced movement therapy for motor and functional upper limb recovery in hospitalized patients with stroke: A randomized, multicentre, double-blind, clinical trial. *Brain Stimulation*, 16(1), 40–47.
<https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.12.008>
- Giacobbe, V., Krebs, H. I., Volpe, B. T., Pascual-Leone, A., Rykman, A., Zeiarati, G., Fregni, F., Dipietro, L., Thickbroom, G. W., & Edwards, D. J. (2013). Transcranial direct current stimulation (tDCS) and robotic practice in chronic stroke: The dimension of timing. *NeuroRehabilitation*, 33(1), 49–56.
<https://doi.org/10.3233/NRE-130927>
- Gillen, G. (2016). *Stroke Rehabilitation—A Function-Based Approach* (4th ed.). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/C2012-0-02658-0>
- Grotta, J. C., Albers, G. W., Broderick, J. P., Day, A. L., Kasner, S. E., Lo, E. H., Sacco, R. L., & Wong, L. K. S. (2021). *Stroke—Pathophysiology, Diagnosis, and Management* (Seventh edition). Elsevier.
- Hesse, S., Waldner, A., Mehrholz, J., Tomelleri, C., Pohl, M., & Werner, C. (2011). Combined transcranial direct current stimulation and robot-assisted arm training in subacute stroke patients: An exploratory, randomized multicenter trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 25(9), 838–846.
<https://doi.org/10.1177/1545968311413906>
- Hesse, S., Werner, C., Schonhardt, E. M., Bardeleben, A., Jenrich, W., & Kirker, S. G. B. (2007). Combined transcranial direct current stimulation and robot-assisted arm training in subacute stroke patients: A pilot study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25(1), 9–15.
- Ho, J. P., & Powers, W. J. (2025). Contemporary Management of Acute Ischemic Stroke. *Annual Review of Medicine*, 76(1), 417–429. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-050823-094312>
- Hummel, F. C., & Cohen, L. G. (2006). Non-invasive brain stimulation: A new strategy to improve neurorehabilitation after stroke? *The Lancet. Neurology*, 5(8), 708–712.
[https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(06\)70525-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(06)70525-7)



- Kachanathu, S. J., Zedan, A. M. E., Hafez, A. R., Alodaibi, F. A., Alenazi, A. M., & Nuhmani, S. (2019). Effect of shoulder stability exercises on hand grip strength in patients with shoulder impingement syndrome. *Somatosensory & Motor Research*, 36(2), 97–101. <https://doi.org/10.1080/08990220.2019.1604335>
- Kadosh, R. C. (2014). *The Stimulated Brain—Cognitive Enhancement Using Non-Invasive Brain Stimulation* (1^o edition). <https://shop.elsevier.com/books/the-stimulated-brain/cohen-kadosh/978-0-12-404704-4>
- Kalailingam, P., Rannikmae, K., Hausman-Kedem, M., Musolino, P. L., & Ruigrok, Y. M. (2025). Genetic Insights Into Hemorrhagic Stroke and Vascular Malformations: Pathogenesis and Emerging Therapeutic Strategies. *Stroke*, 56(5), 1298–1311. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.124.045182>
- Kang, N., Summers, J. J., & Cauraugh, J. H. (2016). Transcranial direct current stimulation facilitates motor learning post-stroke: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 87(4), 345–355. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2015-311242>
- Knotkova, H., Nitshe, M. A., Vikson, M., & Woods, A. J. (2019). *Practical Guide to Transcranial Direct Current Stimulation—Principles, Procedures and Applications*. Springer International Publishing AG.
- Kujirai, T., Caramia, M. D., Rothwell, J. C., Day, B. L., Thompson, P. D., Ferbert, A., Wroe, S., Asselman, P., & Marsden, C. D. (1993). Corticocortical inhibition in human motor cortex. *The Journal of Physiology*, 471, 501–519. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1993.sp019912>
- Kuppuswamy, A., Clark, E., Rothwell, J., & Ward, N. S. (2016). Limb Heaviness: A Perceptual Phenomenon Associated With Poststroke Fatigue? *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 30(4), 360–362. <https://doi.org/10.1177/1545968315597071>
- Kuppuswamy, A., Clark, E. V., Turner, I. F., Rothwell, J. C., & Ward, N. S. (2015). Post-stroke fatigue: A deficit in corticomotor excitability? *Brain*, 138(1), 136–148. <https://doi.org/10.1093/brain/awu306>
- Lang, C. E., Lohse, K. R., & Birkenmeier, R. L. (2015). Dose and timing in neurorehabilitation: Prescribing motor therapy after stroke. *Current Opinion in Neurology*, 28(6), 549. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000256>
- Lang, C. E., Macdonald, J. R., Reisman, D. S., Boyd, L., Jacobson Kimberley, T., Schindler-Ivens, S. M., Hornby, T. G., Ross, S. A., & Scheets, P. L. (2009). Observation of amounts of movement practice provided during stroke rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(10), 1692–1698. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.04.005>



- Lee, S. H., Park, G., Cho, D. Y., Kim, H. Y., Lee, J.-Y., Kim, S., Park, S.-B., & Shin, J.-H. (2020a). Comparisons between end-effector and exoskeleton rehabilitation robots regarding upper extremity function among chronic stroke patients with moderate-to-severe upper limb impairment. *Scientific Reports*, *10*(1), 1806. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58630-2>
- Lee, S. H., Park, G., Cho, D. Y., Kim, H. Y., Lee, J.-Y., Kim, S., Park, S.-B., & Shin, J.-H. (2020b). Comparisons between end-effector and exoskeleton rehabilitation robots regarding upper extremity function among chronic stroke patients with moderate-to-severe upper limb impairment. *Scientific Reports*, *10*(1), 1806. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58630-2>
- Lee, Y., Lee, Y., Yoo, S., Shin, S., Park, H., & Kim, D. (2023). The Psychomotor Cognition Test for Measurement of Sleepiness/Fatigue on a Touch Screen. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2023*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/EMBC40787.2023.10340988>
- Legg, L. A., Lewis, S. R., Schofield-Robinson, O. J., Drummond, A., & Langhorne, P. (2017). Occupational therapy for adults with problems in activities of daily living after stroke. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, *7*(7), CD003585. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003585.pub3>
- Liang, K.-J., Chen, H.-L., Shieh, J.-Y., & Wang, T.-N. (2021). Measurement properties of the box and block test in children with unilateral cerebral palsy. *Scientific Reports*, *11*(1), 20955. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00379-3>
- Malik, A. N., Tariq, H., Afridi, A., & Rathore, F. A. (2022). Technological advancements in stroke rehabilitation. *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*, *72*(8), 1672–1674. <https://doi.org/10.47391/JPMA.22-90>
- Martin, S. S., Aday, A. W., Allen, N. B., Almarzooq, Z. I., Anderson, C. A. M., Arora, P., Avery, C. L., Baker-Smith, C. M., Bansal, N., Beaton, A. Z., Comodore-Mensah, Y., Currie, M. E., Elkind, M. S. V., Fan, W., Generoso, G., Gibbs, B. B., Heard, D. G., Hiremath, S., Johansen, M. C., ... American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Committee. (2025). 2025 Heart Disease and Stroke Statistics: A Report of US and Global Data From the American Heart Association. *Circulation*, *151*(8), e41–e660. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001303>
- Massy-Westropp, N. M., Gill, T. K., Taylor, A. W., Bohannon, R. W., & Hill, C. L. (2011). Hand Grip Strength: Age and gender stratified normative data in a population-based study. *BMC Research Notes*, *4*, 127. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-4-127>



- Mathiowetz, V., Volland, G., Kashman, N., & Weber, K. (1985). Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 39(6), 386–391. <https://doi.org/10.5014/ajot.39.6.386>
- Mazzoleni, S., Dario, P., Posteraro, F., & Iardella, L. (2015). Effects of combined transcranial direct current stimulation and wrist robot-assisted therapy in subacute stroke patients: Preliminary results. *2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 217–222. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2015.7281202>
- Mazzoleni, S., Tran, V. D., Iardella, L., Dario, P., & Posteraro, F. (2017). Randomized, sham-controlled trial based on transcranial direct current stimulation and wrist robot-assisted integrated treatment on subacute stroke patients: Intermediate results. *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics: [Proceedings], 2017*, 555–560. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009306>
- Mazzoleni, S., Tran, V.-D., Dario, P., & Posteraro, F. (2019). Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Combined With Wrist Robot-Assisted Rehabilitation on Motor Recovery in Subacute Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering: A Publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 27(7), 1458–1466. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2920576>
- McCabe, J., Monkiewicz, M., Holcomb, J., Pundik, S., & Daly, J. J. (2015). Comparison of robotics, functional electrical stimulation, and motor learning methods for treatment of persistent upper extremity dysfunction after stroke: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(6), 981–990. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.022>
- Molteni, F., Gasperini, G., Cannaviello, G., & Guanziroli, E. (2018). Exoskeleton and End-Effector Robots for Upper and Lower Limbs Rehabilitation: Narrative Review. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 10(9 Suppl 2), S174–S188. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.06.005>
- Monte-Silva, K., Kuo, M.-F., Hessenthaler, S., Fresnoza, S., Liebetanz, D., Paulus, W., & Nitsche, M. A. (2013). Induction of late LTP-like plasticity in the human motor cortex by repeated non-invasive brain stimulation. *Brain Stimulation*, 6(3), 424–432. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.04.011>
- Morone, G., Capone, F., Iosa, M., Cruciani, A., Paolucci, M., Martino Cinnera, A., Musumeci, G., Brunelli, N., Costa, C., Paolucci, S., & Di Lazzaro, V. (2022). May Dual Transcranial Direct Current Stimulation Enhance the Efficacy of Robot-Assisted Therapy for Promoting Upper Limb Recovery in Chronic Stroke? *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 36(12), 800–809. <https://doi.org/10.1177/15459683221138743>



- Narayan, S. K., Jayan, J., & Arumugam, M. (2022). Short-term Effect of Noninvasive Brain Stimulation Techniques on Motor Impairment in Chronic Ischemic Stroke: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Neurology India*, 70(1), 37. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.338700>
- Nitsche, M. A., Liebetanz, D., Schlitterlau, A., Henschke, U., Fricke, K., Frommann, K., Lang, N., Henning, S., Paulus, W., & Tergau, F. (2004). GABAergic modulation of DC stimulation-induced motor cortex excitability shifts in humans. *The European Journal of Neuroscience*, 19(10), 2720–2726. <https://doi.org/10.1111/j.0953-816X.2004.03398.x>
- Nitsche, M. A., Nitsche, M. S., Klein, C. C., Tergau, F., Rothwell, J. C., & Paulus, W. (2003). Level of action of cathodal DC polarisation induced inhibition of the human motor cortex. *Clinical Neurophysiology*, 114(4), 600–604. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00412-1](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00412-1)
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology*, 527(Pt 3), 633–639. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x>
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1899–1901. <https://doi.org/10.1212/wnl.57.10.1899>
- Nogueira, N. G. de H. M., Parma, J. O., Leão, S. E. S. de A., Sales, I. de S., Macedo, L. C., Galvão, A. C. D. R., de Oliveira, D. C., Murça, T. M., Fernandes, L. A., Junqueira, C., Lage, G. M., & Ferreira, B. de P. (2021). Mirror therapy in upper limb motor recovery and activities of daily living, and its neural correlates in stroke individuals: A systematic review and meta-analysis. *Brain Research Bulletin*, 177, 217–238. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2021.10.003>
- Ochi, M., Saeki, S., Oda, T., Matsushima, Y., & Hachisuka, K. (2013). Effects of anodal and cathodal transcranial direct current stimulation combined with robotic therapy on severely affected arms in chronic stroke patients. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 45(2), 137–140. <https://doi.org/10.2340/16501977-1099>
- Oña, E. D., Jardón, A., Cuesta-Gómez, A., Sánchez-Herrera-Baeza, P., Cano-de-la-Cuerda, R., & Balaguer, C. (2020). Validity of a Fully-Immersive VR-Based Version of the Box and Blocks Test for Upper Limb Function Assessment in Parkinson's Disease. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(10), 2773. <https://doi.org/10.3390/s20102773>
- Pai, M. Y. B., Terranova, T. T., Simis, M., Fregni, F., & Battistella, L. R. (2018). The Combined Use of Transcranial Direct Current Stimulation and Robotic Therapy for the Upper Limb. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, 139, 58495. <https://doi.org/10.3791/58495>



- Parasuraman, R., & McKinley, R. A. (2014). Using Noninvasive Brain Stimulation to Accelerate Learning and Enhance Human Performance. *Human Factors*, 56(5), 816–824. <https://doi.org/10.1177/0018720814538815>
- Park, J.-H., Shin, J.-H., Lee, H., Roh, J., & Park, H.-S. (2021). Alterations in intermuscular coordination underlying isokinetic exercise after a stroke and their implications on neurorehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 18(1), 110. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00900-9>
- Pathak, A., Gyanpuri, V., Dev, P., & Dhiman, N. R. (2021). The Bobath Concept (NDT) as rehabilitation in stroke patients: A systematic review. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 10(11), 3983–3990. https://doi.org/10.4103/jfmprc.jfmprc_528_21
- Pearce, S. C., Stolwyk, R. J., New, P. W., & Anderson, C. (2016). Sleep disturbance and deficits of sustained attention following stroke. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 38(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/13803395.2015.1078295>
- Pignolo, L. (2009). Robotics in neuro-rehabilitation. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(12), 955–960. <https://doi.org/10.2340/16501977-0434>
- Plow, E. B., Cunningham, D. A., Varnerin, N., & Machado, A. (2015). Rethinking stimulation of the brain in stroke rehabilitation: Why higher motor areas might be better alternatives for patients with greater impairments. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 21(3), 225–240. <https://doi.org/10.1177/1073858414537381>
- Potdevin, F., Vors, O., Huchez, A., Lamour, M., Davids, K., & Schnitzler, C. (2018). How can video feedback be used in physical education to support novice learning in gymnastics? Effects on motor learning, self-assessment and motivation. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 23(6), 559–574. <https://doi.org/10.1080/17408989.2018.1485138>
- Rajda, C. M., Desabrais, K., & Levin, M. F. (2025). Relationships Between Cognitive Impairments and Motor Learning After Stroke: A Scoping Review. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 39(2), 142–156. <https://doi.org/10.1177/15459683241300458>
- Ranta, A., Ozturk, S., Wasay, M., Giroud, M., Béjot, Y., & Reis, J. (2023). Environmental factors and stroke: Risk and prevention. *Journal of the Neurological Sciences*, 454, 120860. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2023.120860>
- Reddy, K. J. (2025). Motor Rehabilitation and Biofeedback. Em K. J. Reddy (Ed.), *Innovations in Neurocognitive Rehabilitation: Harnessing Technology for Effective Therapy* (pp. 231–266). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-88117-6_11



- Reinkensmeyer, D. J., Marchal-Crespo, L., & Dietz, V. (2022). *Neurorehabilitation Technology* (third edition). Springer Nature Switzerland AG.
- Roche, N., Geiger, M., & Bussel, B. (2015). Mechanisms underlying transcranial direct current stimulation in rehabilitation. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *58*(4), 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.04.009>
- Rodrigues, J. C., Menezes, P., & Restivo, M. T. (2023). An augmented reality interface to control a collaborative robot in rehab: A preliminary usability evaluation. *Frontiers in Digital Health*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1078511>
- Russo, C., Carneiro, M., Bolognini, N., & Fregni, F. (2017). Safety Review of transcranial Direct Current Stimulation in Stroke tDCS in Stroke: Safety Review. *Neuromodulation: journal of the International Neuromodulation Society*, *20*(3), 215–222. <https://doi.org/10.1111/ner.12574>
- Saturnino, G. B., Puonti, O., Nielsen, J. D., Antonenko, D., Madsen, K. H., & Thielscher, A. (2019). SimNIBS 2.1: A Comprehensive Pipeline for Individualized Electric Field Modelling for Transcranial Brain Stimulation. In S. Makarov, M. Horner, & G. Noetscher (Eds.), *Brain and Human Body Modeling: Computational Human Modeling at EMBC 2018*. Springer. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549569/>
- Schaufler, J., Sverdlík, S. S., Baker, A., & Krewer, S. E. (1978). «Hand gym» for patients with arthritic hand disabilities: Preliminary report. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *59*(5), 221–226.
- Schriner, M., Thome, J., & Carrier, M. (2014). Rehabilitation of the Upper Extremity after Stroke: Current Practice As a Guide for Curriculum. *The Open Journal of Occupational Therapy*, *2*(1). <https://doi.org/10.15453/2168-6408.1056>
- Shilo, G., & Lavidor, M. (2019). Non-linear effects of cathodal transcranial direct current stimulation (tDCS) of the primary motor cortex on implicit motor learning. *Experimental Brain Research*, *237*(4), 919–925. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05477-3>
- Simis, M., Adeyemo, B. O., Medeiros, L. F., Miraval, F., Gagliardi, R. J., & Fregni, F. (2013). Motor cortex-induced plasticity by noninvasive brain stimulation: A comparison between transcranial direct current stimulation and transcranial magnetic stimulation. *NeuroReport*, *24*(17), 973. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000000021>
- Sreeraj, V. S., Arumugham, S. S., & Venkatasubramanian, G. (2023). Clinical Practice Guidelines for the Use of Transcranial Direct Current Stimulation in Psychiatry. *Indian Journal of Psychiatry*, *65*(2), 289–296. https://doi.org/10.4103/indianjpsychiatry.indianjpsychiatry_496_22



- Stagg, C. J., & Nitsche, M. A. (2011). Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, *17*(1), 37–53. <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>
- Straudi, S., Fregni, F., Martinuzzi, C., Pavarelli, C., Salvioli, S., & Basaglia, N. (2016). tDCS and Robotics on Upper Limb Stroke Rehabilitation: Effect Modification by Stroke Duration and Type of Stroke. *BioMed Research International*, *2016*, 5068127. <https://doi.org/10.1155/2016/5068127>
- Strube, W., Bunse, T., Nitsche, M. A., Nikolaeva, A., Palm, U., Padberg, F., Falkai, P., & Hasan, A. (2016). Bidirectional variability in motor cortex excitability modulation following 1 mA transcranial direct current stimulation in healthy participants. *Physiological Reports*, *4*(15), e12884. <https://doi.org/10.14814/phy2.12884>
- Talimkhani, M. M., Talimkhani, A., Dinarvand, V., Mohamadi, S., & Baharlouei, H. (2025). The effects of multi-session dual-tDCS on the bilateral transfer of motor skill learning in patients with stroke. *Clinical Neurophysiology Practice*, *10*, 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2025.06.005>
- Taylor, J. A., & Ivry, R. B. (2012). The role of strategies in motor learning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1251*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06430.x>
- Triccas, L. T., Burridge, J. H., Hughes, A., Verheyden, G., Desikan, M., & Rothwell, J. (2015). A double-blinded randomised controlled trial exploring the effect of anodal transcranial direct current stimulation and uni-lateral robot therapy for the impaired upper limb in sub-acute and chronic stroke. *NeuroRehabilitation*, *37*(2), 181–191. <https://doi.org/10.3233/NRE-151251>
- Van Hoornweder, S., Vanderzande, L., Bloemers, E., Verstraelen, S., Depestele, S., Cuypers, K., Dun, K. van, Strouwen, C., & Meesen, R. (2021). The effects of transcranial direct current stimulation on upper-limb function post-stroke: A meta-analysis of multiple-session studies. *Clinical Neurophysiology*, *132*(8), 1897–1918. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2021.05.015>
- Wang, L., & Hu, A. (2025). Examining isotonic and isometric exercises for post-activation performance enhancement in kickboxers upper limb strength and power. *Scientific Reports*, *15*, 1029. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83969-1>
- Wei, Y., Kasahara, S., Jiang, L., Chiba, A., Ishida, T., Koshino, Y., Samukawa, M., Saito, H., & Tohyama, H. (2025). Integrating Motor Learning Principles into Muscle Force and Balance Control. *Journal of Motor Behavior*, *57*(4), 391–399. <https://doi.org/10.1080/00222895.2025.2505496>
- Wilson, R., & Raghavan, P. (2018). *Stroke Rehabilitation*. Copyright 2019 Elsevier, Inc.
- World Health Organization. (2025). *Stroke, Cerebrovascular accident*. Stroke, Cerebrovascular accident. <https://www.emro.who.int/health-topics/stroke-cerebrovascular-accident/index.html>



- Wulf, G., & Lewthwaite, R. (2016). Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(5), 1382–1414. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0999-9>
- Yadav, S. P., & Kanase, S. (2025). Effect of Shoulder Stability Exercises on Functional Hand Grip in Guillain–Barré Syndrome. *Indian Journal of Medical Specialities*, *16*(2), 92. https://doi.org/10.4103/injms.injms_37_24
- Yu, L., Chen, H., Chen, C., Lin, Y., Huang, Z., Wang, J., & Chen, Q. (2025). Efficacy of anodal transcranial direct current stimulation for upper extremity function after ischemic stroke: A systematic review of parallel randomized clinical trials. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, *34*(1). <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2024.108112>
- Zhang, C., Lan, X., Wang, Q., Zheng, Y., Cheng, J., Han, J., Li, C., Cheng, F., & Wang, X. (2025). Decoding ischemic stroke: Perspectives on the endoplasmic reticulum, mitochondria, and their crosstalk. *Redox Biology*, *82*, 103622. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2025.103622>
- Zhao, J., Zhang, G., & Xu, D. (2024). The effect of reward on motor learning: Different stage, different effect. *Frontiers in Human Neuroscience*, *18*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1381935>
- Zhao, Q., Li, H., Liu, Y., Mei, H., Guo, L., Liu, X., Tao, X., & Ma, J. (2022). Non-invasive brain stimulation associated mirror therapy for upper-limb rehabilitation after stroke: Systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Frontiers in Neurology*, *13*, 918956. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.918956>
- Zhu, F., Xu, X., Jin, M., Chen, J., Feng, X., Wang, J., Yu, D., Wang, R., Lian, Y., Huai, B., Lou, X., Shi, X., He, T., Lu, J., Zhang, J. J., & Bai, Z. (2024). Priming transcranial direct current stimulation for improving hemiparetic upper limb in patients with subacute stroke: Study protocol for a randomised controlled trial. *BMJ Open*, *14*(2), e079372. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-079372>



P.PORTO

ESCOLA
SUPERIOR
DE SAÚDE



M

MESTRADO

Terapia Ocupacional – Ramo em Reabilitação Física