



Recebido em: 11/04/2024.

Aceito em: 29/05/2024.

Revista SODEBRAS – Volume 19  
Nº 221 – MAIO/ JUNHO - 2024

## **NEUROERGONOMIA APLICADA NA ENGENHARIA PARA TESTAR MATERIAIS MAIS LEVES E CONFORTÁVEIS PARA USUÁRIOS DE CADEIRAS DE RODAS**

### *NEUROERGONOMICS APPLIED IN ENGINEERING TO TEST LIGHTER AND COMFORTABLE MATERIALS FOR WHEELCHAIR' USERS*

Roque Antônio de Moura<sup>1</sup>  
Jonathan William Oliveira Marílio<sup>2</sup>  
Diego José Rodrigues Marques<sup>3</sup>  
Márcia Regina de Oliveira<sup>4</sup>  
Messias Borges Silva<sup>5</sup>

**Resumo** – *Com o advento da era digital, máquinas inteligentes demandam um perfil atualizado da força laboral. A mobilidade reduzida não é mais um limitador e, para além da acessibilidade e deslocamento individual, a cadeira de rodas tem a função e importante papel de ajudar na socialização. O objetivo desta pesquisa é divulgar e aplicar os princípios neuroergonômicos na engenharia para testar materiais que possam ser usados na construção de cadeiras de rodas, validando por meio de ensaios virtuais, materiais mais leves e confortáveis para os cadeirantes. A metodologia adotada contou com pesquisa bibliográfica inerente ao tema e uso de software especializado para testar três materiais distintos. O resultado aponta que há materiais que oferecem excelentes propriedades mecânicas e são mais leves e de fácil manuseio. Conclui-se que os fabricantes precisam rever os materiais utilizados na confecção das cadeiras de rodas bem como aplicar princípios neuroergonômicos na fabricação de novos modelos de cadeiras de rodas que demandem menor esforço na locomoção e melhorem a postura dos usuários.*

**Palavras-chave:** *Cadeira de Rodas. Deficientes. Ensaio Virtual. Material Leve. Neuroergonomia.*

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Biomédica. Professor titular dos cursos da FATEC SJC. Coordenador e professor dos cursos de pós-graduação da Universidade de Taubaté. Pesquisador do programa de Pós-Doutorado da EEL-USP e UNESP. (CEP/CAAE: 60629922.9.0000.5501)”. Contato: roque.moura@unesp.br.

<sup>2</sup> Especialista em Projeto Mecânico pelo curso de Pós-graduação *lato sensu* da Universidade de Taubaté. Engenheiro Mecânico. Contato: jonathan.womarilio@unitau.br.

<sup>3</sup> Especialista em Projeto Mecânico pelo curso de Pós-graduação *lato sensu* da Universidade de Taubaté. Engenheiro Mecânico. Professor de Pós-graduação *lato sensu*. Contato: diego.jrmarques@unitau.br.

<sup>4</sup> Doutora em Planejamento Urbano e Regional. Professora cursos de graduação e pós-graduação da Unitau. Diretora-Presidente da Fundação de Apoio à Pesquisa, Tecnologia e Inovação da UNITAU. Contato: oliveira.marcia@unitau.br.

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Química. Professor Titular da UNESP e USP-EEL. Co-líder da Iniciativa CDIO na América Latina. Pesquisador e docente pós-graduação *strictu sensu*. Contato: messias.silva@unesp.br.

**Abstract - With the advent of the digital era, intelligent machines demand an updated profile of the workforce. Reduced mobility is no longer a limitation and, in addition to accessibility and individual movement, the wheelchair has the important function of helping with socialization. The objective of this research is to disseminate and apply neuroergonomic principles in engineering to test materials that can be used in the construction of wheelchairs, validating, using virtual tests, lighter and more comfortable materials for wheelchair users. The methodology adopted related bibliographical research inherent to the topic and use specialized software to test three different materials. The result shows that there are materials that offer excellent mechanical properties and are lighter and easier to handle. It is concluded that manufacturers need to review the materials used in the manufacture of wheelchairs as well as apply neuroergonomic principles in the manufacture of new models of wheelchairs that require less effort in locomotion and improve the posture of users.**

**Keywords: Wheelchair. Handicapped People. Virtual Test. Light Material. Neuroergonomics.**

## I. INTRODUÇÃO

Neuroergonomia é uma combinação das palavras neuro relacionado ao sistema nervoso, e ergonomia, dedicada as regras do trabalho. Como uma área emergente, coletivamente, se preocupa com a função cerebral humana em relação ao desempenho comportamental (Longo *et al.*, 2022). O excesso de carga físico-mental humana é um dos fatores neuroergonômicos que levam ao estresse e fadiga (Oshin *et al.*, 2023).

De acordo com Moura *et al.* (2022) com o advento da era digital, máquinas inteligentes irão demandar um perfil atualizado da força laboral com habilidades e competências diferenciadas e atualizadas. A mobilidade reduzida não será um limitador desde que, os indivíduos, reúnam as habilidades e competências requeridas para tarefa. Por meio das legislações regulamentadoras, as pessoas portadoras de deficiência poderão ter acesso aos recursos tecnológicos que diminuem as limitações causadas pela deficiência. Nesse sentido, uma cadeira de rodas deve atender às necessidades de pessoas com deficiência sem exceder as capacidades físicas e mental do esforço para locomoção (Tyagi; Mehta, 2022).

Os princípios neuroergonômicos na construção de uma cadeira de rodas com a interação entre o sistema nervoso, o corpo e não apenas a deficiência motora dos usuários, promove um maior conforto, eficiência e bem-estar psicológico além de se adequar às medidas corporais do usuário para evitar desconforto e lesões (Moura; Jesus; Souza, 2019), manter uma postura correta minimizando a fadiga, o esforço cognitivo e físico, partindo da premissa que projetos que integrem humanos como prolongamentos não humanos e assistivos, devem considerar o impacto psicológico promovendo independência e autoestima (Corti, 2022).

Atualmente a cadeira de rodas não é apenas um meio de locomoção, mas também uma extensão de seus usuários, proporcionando impactos positivos como qualidade de vida, inclusão e socialização. Segundo a pesquisa nacional por amostra de domicílios, a taxa de participação da força de trabalho de deficientes foi de 24,4% para o gênero masculino e 26,5% para o gênero feminino. O nível de ocupação dos deficientes foi menos da metade do percentual encontrado para as pessoas sem deficiência (IBGE, 2022).

Para equilibrar as deficiências dos indivíduos, as tecnologias assistivas podem auxiliar contribuindo para uma maior qualidade de vida e inserção no lazer social, educação e trabalho. Houve um aumento da população deficiente e neste contexto, as empresas de fabricação de cadeiras de rodas precisam inovar com um melhor custo-benefício para a confecção e fabricação (Moura; Moura, 2019).

Dentre os benefícios da tecnologia informacional, a simulação utiliza *software* especializado com algoritmos e modelos matemáticos que podem ser usados para otimizar a análise estrutural a partir de um modelo tridimensional (Azevedo, 2023).

## II. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 – Deficientes e uso de cadeira de rodas como meio de locomoção e socialização

Conforme o IBGE (2022), a deficiência motora é a principal, ou seja, os indivíduos tem dificuldades para caminhar ou locomover-se para andares superiores por meio de escadas. O perfil das pessoas com deficiência se mostrou mais feminino (10,0%) do que masculino (7,7%). Há cerca de 18,6 milhões de deficientes e entre essas, aproximadamente 1,3 milhão de pessoas dependem de cadeiras de rodas para se locomover, socializar e executar tarefas do cotidiano (G1, 2023).

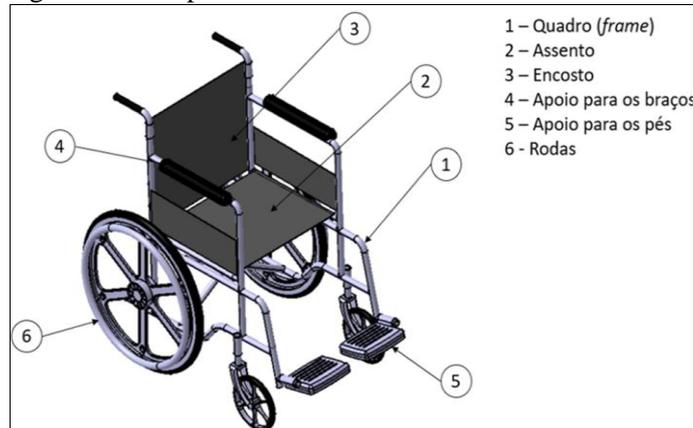
Órgãos como a organização mundial da saúde estima um aumento da população cadeirante devido ao envelhecimento dos membros inferiores do corpo humano e pela inclusão em programas governamentais de socialização dos deficientes motores à sociedade (OMS, 2023).

Observa-se também que a vida social e profissional, sob os auspícios do princípio da isonomia, ampara os deficientes na exata proporção de suas desigualdades, quanto a condição de ir, vir e estar. As autoridades governamentais e gestores devem garantir a mobilidade, segurança e mínimos recursos de existência para todos (Moura *et al.*, 2021).

Para os deficientes, a cadeira de rodas se destaca como um dos principais exemplos de tecnologia assistiva, impactando profundamente a vida de milhões de pessoas com deficiência física ou mobilidade reduzida. Mais do que um meio de transporte, ela representa a chave para a independência, autonomia e participação social dos indivíduos em diversos aspectos da vida. Membros inferiores de modo parcial ou total, temporária ou permanentemente inativos, são assistivamente amparadas por cadeira de rodas (ABNT, 2015).

Os componentes das cadeiras de rodas manuais são quadro (*frame*), assento, encosto, apoio para os braços, apoio para os pés e rodas, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Componentes da cadeira de rodas convencional.



Fonte: Autores (2024).

A estrutura do quadro da cadeira de rodas é o componente que une e sustenta todos os demais componentes e onde o peso do usuário é distribuído. Três são tipos os mais procurados conforme mostra o Quadro 1 (Vollenz, 2019).

Quadro 1 - Três tipos mais comuns de cadeiras de rodas.

Tipo	Recomendação	Ilustração
Cadeira manual	Melhor custo-benefício. Recomendado em uso temporário, reabilitação física ou recém-operados com dificuldades de locomoção.	
Cadeira dobrável em "X"	Tem duas laterais. Une-se por tubos que formam uma sustentação no formato em "X". Possui estabilidade e dá uma sensação de mais conforto para o usuário.	
Cadeira Monobloco	Principal benefício é o menor peso. Os usuários se locomovem sozinhos com a força dos braços. Indicada para cadeirantes esportistas ou atletas.	

Fonte: Autores (2024).

## 2.2 – Neuroergonomia como aliado dos deficientes

Neuroergonomia, uma junção entre psicologia do trabalho e neurociência busca identificar a importância das respostas neurofisiológicas, fisiológicas e comportamentais dos estados mentais vinculados ao desempenho cotidiano. Tecnologias vestíveis, não invasivas e digitais contribuem para investigar diversos cenários neuroergonômicos (García-Acosta, 2021), ou seja, o princípio orientador da neuroergonomia é entender como o cérebro realiza as tarefas do cotidiano. Tanto a neurociência quanto a ergonomia, avançam sob o progresso constante das tecnologia assistivas (Villarouco *et al.*, 2020; De Andrade, 2021).

A neuroergonomia, no âmbito físico-mental, estuda o comportamento no trabalho, visando projetar o trabalho combinado com a capacidade neural e limitações das pessoas (Parasuraman; Rizzo, 2007). Para Bu *et al.* (2023) sobre o bom desempenho, o indivíduo deve possuir capacidade suficiente para atender às demandas da tarefa, e isso, acontece quando os requisitos cognitivos da tarefa não excedem sua capacidade físico-mental (Nuamah; Mehta, 2020).

Nesse sentido, os princípios neuroergonômicos na construção de uma cadeira de rodas promove maior conforto, eficiência e bem-estar psicológico além de observar as dimensões corporais dos usuários (Moura; Jesus; Souza, 2019). A tecnologia assistiva em constante evolução estão tornando as cadeiras cada vez mais eficientes, seguras e confortáveis. Os projetos de máquinas como prolongamentos assistivos para humanos precisam impactar positivamente na autoestima dos usuários (Corti, 2022).

## III. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi de classificação aplicada, exploratória, com abordagem quantitativa e método experimental para que os resultados sejam utilizados e replicados na solução de problemas reais, focando-se nos materiais usados em construção da estrutura da cadeira de rodas. Esta pesquisa buscou por históricos e simulações repetíveis objetivando analisar e verificar a importância da simulação estrutural de uma cadeira rodas fabricadas com diferentes materiais, priorizando menor peso, resistência a deformação e durabilidade. A cadeira de rodas foi redefinida em modelos matemáticos e desenho tridimensional para a simulação estrutural.

Para analisar a estrutura e modelagem, foi utilizado um manequim do gênero feminino, de 1,63 metros de altura e com peso de 62 quilos. A análise estrutural estática aplicou método por análise de elementos finitos usando o *software* Ansys versão 2022.

#### IV. RESULTADOS

A análise simulacional do pós-processamento em formato de curvas de contornos com as distribuições de tensões, deformação, deslocamento e fator de segurança podem ser comparadas usando o *software Ansys* (2023). A Tabela 1 mostra os principais pontos comparativos entre Aço AISI 1020, Alumínio e Fibra de Carbono.

Tabela 1 - Compilado dos dados encontrados dos materiais analisados virtualmente.

Material da estrutura	Peso (kgf)	Deformação (mm)	Fator Segurança
Aço 1020	9,11	0,16	5,3
Alumínio 2024-T6	3,21	0,47	6,8
Fibra de Carbono	1,85	0,58	8,3

Fonte: Autores (2024)

O peso por referir-se à força gravitacional que atua sobre a cadeira de rodas, medido em quilogramas-força (kgf), é importante para determinar a força necessária para movimentá-la e a capacidade de carga da cadeira. Levando em consideração a facilidade de mobilidade do cadeirante, quanto mais leve o quadro, menor o esforço necessário para a locomoção e posicionamento.

Deformação refere-se à mudança na forma da cadeira de rodas sob carga. Medida em metros (m) ou milímetros (mm) é importante para determinar a rigidez da estrutura, a segurança e a vida útil da cadeira.

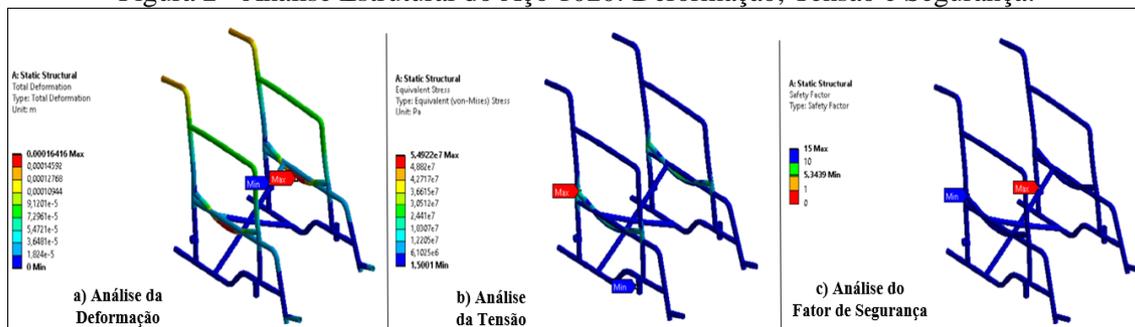
A deformação representa o quanto um ponto se movimentou após a aplicação da força, considerando-se o deslocamento de toda a estrutura da cadeira de rodas com carga, cujo padrão é não atingir a tensão limite de escoamento, ou seja, não pode atingir zona plástica.

O fator de segurança, indica a margem de segurança entre a carga de trabalho real e a carga máxima que a cadeira de rodas pode suportar. Garante a segurança do usuário, evita falhas catastróficas e mantêm a vida útil do equipamento. O fator de segurança leva em consideração o valor determinado pela análise de elementos finitos e, quanto maior este valor, mais estável e ausente do módulo de falha será a estrutura da cadeira de rodas.

##### 4.1 – Análise estrutural do Aço AISI 1020

A simulação virtual no *software Ansys* (2022) com carga estática submetida de 130 quilos encontrou 0,16 milímetros (mm) de deformação, 54,92 MPa de tensão (Von-Mises) sob um fator de segurança de 5,3 conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Análise Estrutural do Aço 1020: Deformação, Tensão e Segurança.

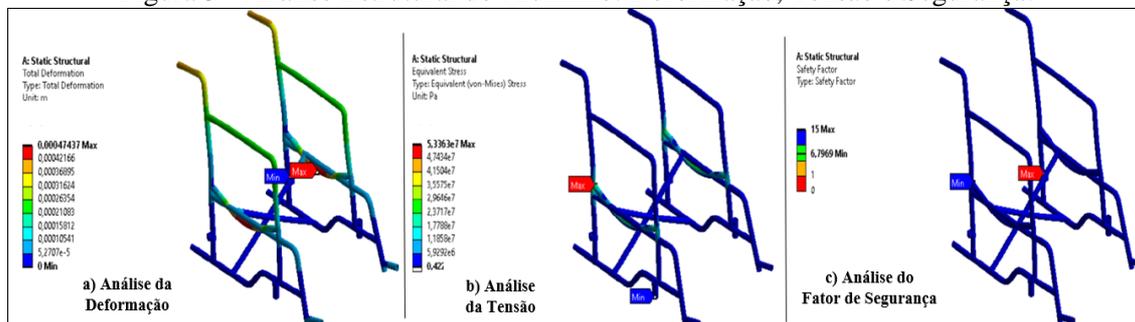


Fonte: Autores (2024).

#### 4.2 – Análise estrutural do Alumínio

Alumínio 2024-T6: verificado pela simulação virtual no *software Ansys* (2023) com carga estática submetida de 130 quilos, há um deslocamento no valor de 0,47 mm, 53,36 MPa de tensão de Von-Mises e sob análise de um fator de segurança de 6,8 conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Análise Estrutural do Alumínio: Deformação, Tensão e Segurança.

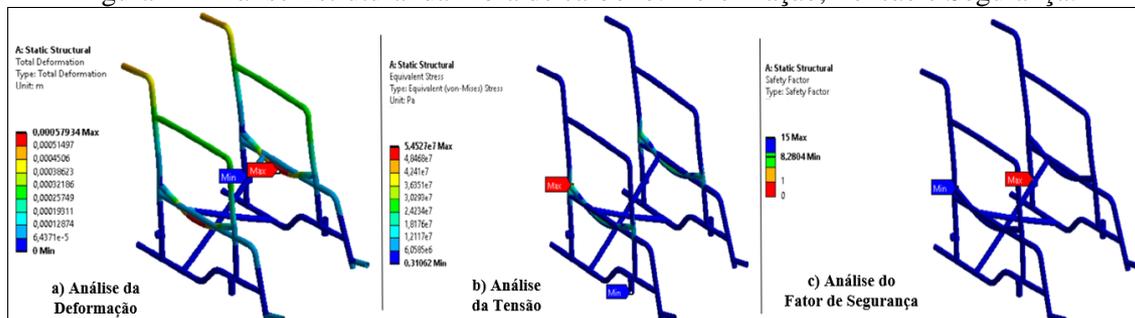


Fonte: Autores (2024).

#### 4.3 – Análise estrutural da fibra de carbono

Para a Fibra de Carbono, foi possível verificar por meio da simulação virtual no *Ansys* (2020) com carga estática submetida de 130 kg, o valor de 0,58 mm de Deslocamento, 54,23 MPa de Tensão de Von-Mises e 8,3 de Fator de Segurança, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Análise Estrutural da Fibra de carbono: Deformação, Tensão e Segurança.



Fonte: Autores (2024).

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisou virtualmente na construção das cadeiras de roda os materiais Aço AISI 1020, o Alumínio 2024-T6 e a Fibra de Carbono. Pode-se observar que nas análises estruturais virtuais, a cadeira de rodas construída em fibra de carbono é aproximadamente 79% mais leve que a construída em aço e 42% mais leve que a construída em alumínio.

A fibra de carbono embora tenha apresentado uma deformação maior que o alumínio e o aço, tem um limite de escoamento superior, ou seja, para sofrer deformações permanentes a fibra de carbono terá que ser submetida a uma tensão maior que a do aço e a do alumínio. O fator de segurança encontrados, também corroboram que a fibra de carbono é vantajosa (56% > aço e 22% > alumínio). Contudo esta pesquisa não verificou critérios e parâmetros técnicos quanto ao custo de cada um dos materiais.

Em relação aos princípios neuroergonômicos que orientam aplicar na engenharia e construção das cadeiras de rodas, foram considerados materiais mais leves com a interação entre o sistema nervoso, dimensões corporais, maior conforto, eficiência e bem-estar psicológico dos usuários.

Um projeto assistivo deve integrar-se aos humanos impactando positivamente no psicológico, ou seja, promover a independência, harmonia e autoestima.

Conclui-se que dentre os materiais apresentados, a fibra de carbono apresentou menor peso e manteve a qualidade das propriedades mecânicas do aço, o que leva a uma melhor qualidade de assistividade para os cadeirantes. Como trabalho futuro, propõe-se analisar outras tecnologias assistivas do ponto de vista dos preceitos neuroergonômicos.

## VI. REFERÊNCIAS

- ABNT. 2015. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira. NBR 9050. Acessibilidade de edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Disponível em: [https://www.cairn.gov.br/wp-content/uploads/2020/08/ABNT-NBR-9050-15-Acessibilidade-emenda-1\\_-03-08-2020.pdf](https://www.cairn.gov.br/wp-content/uploads/2020/08/ABNT-NBR-9050-15-Acessibilidade-emenda-1_-03-08-2020.pdf) Acesso em 30mar.2024
- AZEVEDO, Domingos F. O. **Análise estrutural com o método dos elementos finitos no Ansys® Workbench**: Static structural e Design modeler©. 2023. ASIN: B0CLYNLC9V. E-book.
- BU, L., QU, J., ZHAO, L., ZHANG, Y., WANG, Y. A neuroergonomic approach to assessing motor performance in stroke patients using fNIRS and behavioral data (2023) **Applied Ergonomics**, 109. No. 103979. DOI: 10.1016/j.apergo.2023.103979. Scopus
- CORTI, L. (2022) The role of neuroergonomics in the design of personalized prosthesis: deepening the centrality of human being. **Front. Neurorobot.** pp16:867115. DOI: 10.3389/fnbot.2022.867115
- DE ANDRADE, M. J. O. Neuroergonomy: An engagement between work psychology and Neurosciences. **Innov Clin Neuro.** 2021. PMID: 35096480. PMCID: PMC8794481.
- G1. Portal de notícias. 2023. **Brasil tem 18,6 milhões de pessoas com deficiência, cerca de 8,9% da população segundo o levantamento do IBGE.** Disponível em <https://g1.globo.com/economia/noticia/2023/07/07/brasil-tem-186-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia-cerca-de-89percent-da-populacao-segundo-ibge.ghtml> Acesso em 30.mar.2024

GARCÍA-ACOSTA, A.; DE LA RIVA, J.; SANCHEZ, J.; REYES-MARTÍNEZ, R. (2021). Neuroergonomic stress assessment with two different methodologies, in a manual repetitive task-product assembly. **Computational Intelligence and Neuroscience**. 2021. 1-13. DOI: 10.1155/2021/5561153.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo realizado em 2022**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda#:~:text=Dos%2099%2C3%20milh%C3%B5es%20de,homens%2C%204%2C1%25> Acesso em 26.mar.2024

LONGO, L.; WICKENS, C. D.; HANCOCK, P. A.; HANCOCK, G. M. Human mental workload: a survey and a novel inclusive definition. (2022) **Frontiers in Psychology**, 13, art. no. 883321. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.883321. Source: Scopus

MOURA, R. A.; JESUS, N. M. R.; SOUZA, R. S. Antropometria e ergonomia como ferramentas de vanguarda produtivas nas indústrias do futuro. **Revista Sodebras [on line]**. Vol. 14, Ed.157, p.109-112, 2019. ISSN. 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.157.109>

MOURA, R. A.; MOURA M. L. S. Aplicação da engenharia estrutural segura na montagem do veículo “baja” para aprendizado acadêmico e aprimoramento profissional dos discentes. **Revista Sodebras [on-line]**, vol. 14, n° 12, pp 31-36. junho/2019. ISSN 1809-3957. DOI: 10.29367/issn.1809-3957.14.2019.162.31

MOURA, R.; RICETTO, M.; LUCHE, D.; TOZI, L. AND SILVA, M. (2022). New professional competencies and skills leaning towards Industry 4.0. *In Proceedings of the 14th International Conference on Computer Supported Education - Volume 2: CSEDU*, pp 622-630. ISSN 2184-5026. DOI: <http://dx.doi.org/10.5220/0011047300003182>

NUAMAH, J. K., MEHTA, R. K. (2020). **Neuroergonomic applications in information visualization**. *In: Nam, c. (eds) neuroergonomics. cognitive science and technology*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-34784-0\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34784-0_21)

OMS. In: Organização Mundial da Saúde: **Assistive Technology**. 2023. ISBN: 9789241547482. Disability and rehabilitation. Guidelines on the provision of manual wheelchairs in less-resourced settings. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547482> Acesso em: 15mar.2024.

OSHIN, T.; TIASH R. M.; RANJANA K. M. Neurophysiological, muscular, and perceptual adaptations of exoskeleton use over days during overhead work with competing cognitive demands, **Applied Ergonomics**, Vol. 113. 2023. DOI: 10.1016/j.apergo.2023.104097

PARASURAMAN, R.; RIZZO, M. 2007. **Introduction to Neuroergonomics**. *In: (Ed.). Neuroergonomics: The brain at work*. New York: Oxford University Press, Inc, p. 3-11.

TYAGI, O.; MEHTA, R. K. Mind over body: **A neuroergonomic approach to assessing motor performance under stress in older adults**. *Applied Ergonomics*. 2022. PMID: 35086006. 101:103691. DOI: 10.1016/j.apergo.2022.103691.

VILLAROUCO, V; SANTIAGO, Z. M.; PAIVA, M.; FILHO, P.; MEDEIROS, R. (2020). **Neuroergonomia, neuroarquitetura e ambiente construído**: tendência futura ou presente? *Ergodesign & HCI*. 8. 92. DOI: 10.22570/ergodesignhci.v8i2.1459.

VOLLENZ. Catálogo de equipamentos para reabilitação. [S. l.], p. 1-1, 30 abr. 2019. **Os cinco principais tipos de cadeira de rodas e qual o modelo ideal para você.**

Disponível em: <https://vollenz.com/os-5-principais-tipos-de-cadeira-de-rodas-e-qual-o-modelo-ideal-para-voce> Acesso em 25mar.2024.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.