

**CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO JOSÉ  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ERICKY GIL BANDEIRA DE LIMA**

**PROFESSOR-ORIENTADOR  
RAFAEL DE VASCONCELLOS CLARIM**

**VIABILIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE EXOESQUELETO NO  
COTIDIANO**

Rio de Janeiro

2022.2

## **VIABILIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE EXOESQUELETO NO COTIDIANO**

### **FEASIBILITY OF EXOSKELETON PRODUCTION IN DAILY LIFE**

#### **Nome (s) do (s) autor (es)**

Graduando Ericky Gil Bandeira de Lima do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário São José.

#### **Orientador**

Prof. Dr. Rafael de Vasconcellos Clarim.

#### **RESUMO**

Ao longo dos anos, o ser humano vem se sujeitando as lesões contínuas do tempo, seja por seu trabalho, ou por situações simples diárias como carregar bolsas, a partir deste ponto veio a solução de desenvolver uma linha produção com baixo custo, e pouco preço de venda, para amenizar ou até mesmo solucionar as dificuldades do dia a dia. Ainda neste trabalho visualizamos o modelo de logística aplicada na linha de produção e a precificação final do produto. Os resultados obtidos demonstraram como seria realizado o processo de montagem do produto, com o seu layout, o modelo de produção, assim como qual seria seu público-alvo e o seu preço final.

**Palavras-chave: Exoesqueleto, Produção de exoesqueleto e Tarefas do Cotidiano.**

#### **ABSTRACT**

Over the years, human beings have been subject to continuous injuries over time, either because of their work, or because of simple daily situations such as carrying bags. From this point came the solution of developing a production line with low cost and low price. sales, to alleviate or even solve the difficulties of everyday life. Also in this work, we visualize the logistics model applied to the production line and the final pricing of the product. The results obtained demonstrated how the product assembly

process would be carried out, with its layout, the production model, as well as its target audience and its final price.

**Keywords: Exoeskeleton, Production of exoeskeleton, daily tasks.**

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o ser humano vem se sujeitando as lesões contínuas do tempo, seja por seu trabalho, ou por situações simples diárias como carregar bolsas, a partir deste ponto veio a solução de desenvolver uma linha produção com baixo custo, e pouco preço de venda, para amenizar ou até mesmo solucionar as dificuldades do dia a dia.

O corpo humano apesar de todos os fatores ainda é frágil, seja no campo de trabalho, ou em qualquer situação do dia a dia.

Esta ferramenta traz inúmeras vantagens, principalmente para a área de saúde e segurança ocupacional. Entre elas, a diminuição de lesões, o auxílio para o carregamento de itens muito pesados, além da melhoria na qualidade de vida do funcionário.

Fábricas e linhas de montagem, assim como armazéns, são locais onde um exoesqueleto pode trazer múltiplos benefícios. Tarefas pesadas e repetitivas ou que resultam em posturas incômodas prejudicam os trabalhadores, razão pela qual algumas empresas estão incorporando estruturas robóticas de corpo inteiro ou de membros.

Desta forma, é possível libertá-los de cargas pesadas, de excesso de esforço e também torná-los mais resistentes a posturas incômodas ao longo do dia de trabalho. Estas soluções não são acessíveis para todas as empresas, já que apresentam elevados custos.

Visualizando futuramente, esta tecnologia tem potencial para melhorar a vida de muitos trabalhadores, que podem se beneficiar por terem sua carga de trabalho reduzida e se sentirem menos cansados ao voltar para casa, além de beneficiar a sua saúde estrutural.

Com base no atual cenário o presente artigo responderá as seguintes problemáticas: Como criar uma linha de produção de baixo custo para exoesqueletos? Como será? E qual a logística por trás disto? Como será a projeção de vida da população após esta tecnologia?

O Objetivo Geral é visar, planejar e criar uma linha de produção de baixo custo de exoesqueletos, para a compra popular e os Objetivos específicos são: Projetar o equipamento; Definir uma linha de produção de baixo custo; Montar a logística de entrega para clientes externos; Definir o preço final ao cliente externo.

Este Artigo Científico se justifica em trazer ao cotidiano a tecnologia de exoesqueletos para que haja a melhoria na saúde mecânica popular, além de evoluir a tecnologia atual, pois estará melhorando a capacidade corporal além de aumentar a capacidade dos idosos e deficientes de se locomover com mais facilidade.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A grande maioria das indústrias apesar de serem robustas e flexíveis, ainda deixam a desejar na área de redução de custos e desperdício. Para que haja uma viabilização de uma produção de larga escala, o primeiro ponto a ser fundamentado será o método de produção, propondo os objetivos de reduzir os custos operacionais e expandir a produtividade da indústria.

Visando as duas vertentes da produção, Push-Pull, chegamos ao ponto de sua metodologia, onde será definida o rumo da indústria, dentro da produção temos o

Sistema de produção puxada(Pull) e o Sistema de produção empurrado(Push). Segundo ERP Consultoria, os sistemas de produção puxada e empurrada são metodologias opostas, que devem estar de acordo com o funcionamento da empresa. Diferente da produção puxada, o sistema de produção empurrada leva em consideração a previsão de demanda e para isso utiliza estoques e um sistema de lotes.(Epr Consultoria.Produção Puxada).

Enquanto a produção puxada enfatiza a qualidade da produção, a empurrada leva em consideração a quantidade e agilidade na entrega dos produtos. Além disso, a produção empurrada, realiza a previsão de demanda de acordo com históricos de vendas ou análises de mercado. Enquanto isso, na produção puxada leva-se em conta a demanda diretamente do cliente.(Epr Consultoria.Produção Puxada).

Desenvolvido por quatro estudantes de engenharia mecânica na University of Pennsylvania, o Titan arm, o exoesqueleto para uso de membros superiores a um baixo custo que aprimora a força humana, foi premiado com o Prêmio James Dyson 2013. O sistema foi desenvolvido para cuidar da saúde do operador, a extensão mecânica ajuda a aumentar a força do braço do usuário ao máximo de 18 kg para reduzir a fadiga, e acolhe as costas para prevenir uma má postura.

O exoesqueleto também pode ser usado para ajudar pessoas feridas a reconstruir músculos e reaprender o controle motor de seus corpos. O equipamento provê um feedback detalhado aos doutores , na qual podem ser usados para motivar seus pacientes, mostrando o aprimoramento ao decorrer do tempo e também pode ajudar aos usuários que sofreram de feridas permanentes ou deficiências a viverem como pessoas normais. Com técnicas de impressão 3D e usinagem CNC, a ajuda móvel foi fabricada com o protótipo ergonômico funcional por menos de dois mil Dólares.(Caula,R. Titan arm assistive exoskeleton wins 2013 James Dyson award. 2013).

Apesar do exoesqueleto titan arm ser bastante produtivo, ainda não atende aos requisitos do projeto em si, pois está acima de valor acessível, visto este, outro protótipo desenvolvido por Eliézer Pires Ferreira, bolsista da Universidade Federal de Goiás, está mais acessível à população com o valor de três mil reais. Apesar do valor não ser o ideal ainda, está mais próximo de um valor real acessível.

Fabricar o exoesqueleto em uma impressora 3D é uma alternativa diante dos equipamentos encontrados no mercado. Segundo Eliézer, os atuais aparelhos de reabilitação são importados e custam mais de R\$ 30 mil, ou seja, além do preço elevado do próprio equipamento que deve ser comprado em outro país, ainda há o alto custo de peças e manutenção, quando necessárias. O exoesqueleto feito na impressora 3D poderia ser vendido no mercado por um valor abaixo de R\$ 3mil. “Essa pesquisa é muito importante para as pessoas que não têm tanto poder aquisitivo”, afirma Eliézer. Além disso, com a impressão em 3D, há a vantagem de o protótipo ser mais leve, pois a maior parte das estruturas é em

plástico biodegradável, tornando-o mais fácil de carregar. “É um material bem resistente e acessível”. (Leticia, S. Bolsista da Fapeg desenvolve exoesqueleto de baixo custo para membros superiores. Goiás, 2019).

### **3. DESENVOLVIMENTO**

#### **Layout do produto**

O presente artigo tem como objetivo principal trazer soluções para pessoas que se lesionam em atividades como levantamento de pesos, movimentações do corpo, entre outros. Compete aos profissionais da saúde (fisioterapeutas, educadores físicos, médicos fisiatras e ortopedistas, entre outros...) que lidam diretamente com esse público-alvo saber quais as lesões mais comuns e como tratá-las. Além disso, tal profissional deve conhecer os princípios básicos das atividades em questão, diagnosticar e auxiliar no plano de tratamento.

O exoesqueleto será vestível, a tecnologia vestível (wearable technology) vem sendo utilizada por diferentes áreas a fim de proporcionar ao usuário soluções por meio da tecnologia em instrumentos que estejam diretamente ligados ao corpo. Dispositivos não humanos e inteligentes, que proporcionam a comunicação, armazenamento de dados e análise de dados do indivíduo, tornam-se cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas (MARINI, 2017).

De acordo com Cai et al. (2019) os vestíveis, enquanto monitores de saúde, contribuem para que a condição de um indivíduo seja rapidamente analisada, sendo que esse tipo de produto pode informar sobre condições primárias de que algo não está bem. Nesse sentido alguns vestíveis já disponíveis e ou em desenvolvimento, para a área da saúde, vão ao encontro de análises a prever o risco ao diabetes, saúde do coração, qualidade do sono, saúde da pele, detecção de alguns tipos de câncer em estágio inicial (ANICETO, 2019).

Os exoesqueletos precisam ser portáteis, ou não precisam ser conectados fisicamente a uma fonte de energia fixa. Para que estes dispositivos sejam viáveis, eles devem ser completamente autônomos.

Suas fontes de alimentação precisam ser leves, confiáveis e duráveis, uma combinação de exigências difíceis de serem alcançadas com um baixo custo. Isto é semelhante ao caso das baterias de carros elétricos.

O alto custo dessas unidades é uma barreira significativa. No caso dos exoesqueletos médicos, estamos falando de dezenas de milhares de euros por unidade, mesmo para as opções mais acessíveis. Atualmente, somente os centros médicos mais avançados com os maiores orçamentos, assim como as grandes indústrias, podem assumir esses gastos.

A realidade é que, embora os exoesqueletos ajudem a superar as barreiras físicas dos seres humanos, eles estão longe de ser confortáveis. Eles podem ser pesados, mesmo que aliviam parte desse peso extra por conta própria, e podem ser desconfortáveis. A forma como eles estão apoiados ao corpo dos usuários pode causar fricções desconfortáveis e até mesmo dolorosas. Esse é um problema considerável, já que apesar de evitar lesões e melhorar a produtividade, são ferramentas pouco atraentes por serem de difícil utilização.

Ainda na área da saúde observa-se que esses produtos são direcionados a indivíduos que possuem necessidades como: perda total ou parcial de movimentos; perda parcial ou total da visão; perda total ou parcial da audição; monitoramento dos batimentos cardíacos, entre outros. Para Aniceto (2019), os vestíveis se classificam em cinco categorias: monitoramento de saúde e bem-estar; supervisão e segurança; reabilitação domiciliar; avaliação da eficácia e detecção precoce. Sendo esses produtos o futuro em cuidados com a saúde, já que contemplam em um único produto a possibilidade de análise de um ou mais problemas.

Diante do exposto, esta pesquisa busca atender ao objetivo de investigar como os exoesqueletos vestíveis vêm sendo utilizados na área da saúde e auxiliar nos processos de reabilitação, bem-estar dos indivíduos e movimentos para evitar lesões e aumento da produtividade do corpo.

Identificou-se que exoesqueletos são estruturas vestíveis, ergonômicas que possuem a função de auxiliar o indivíduo em determinada atividade. Essas atividades podem ser relacionadas tanto à perda de movimentos em decorrência de acidentes, doenças e até mesmo para auxiliar como equipamento de proteção ao trabalho (KAISER; BING, 2020). Nesses casos o exoesqueleto avalia o movimento feito pelo indivíduo - por meio de análise, cálculos, uso de algoritmos - e contribui para a reabilitação ou redução da fadiga causada pelo trabalho (FONTES, 2020).

Em consulta aos resultados apresentados por Kaiser e Bing (2020) e no site do Projeto de Pesquisa da UBS, percebe-se que ainda não houve a prototipagem de tal instrumento, mas estudos traçam um perfil de exoesqueleto que atenda aos objetivos da pesquisa. Há informações no site do projeto que prevê o desenvolvimento e simulação tanto para reabilitação do ser humano quanto da análise do movimento - no sentido de previsão e redução do esforço. O projeto pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Projeto de exoesqueleto para membros superiores desenvolvido por pesquisadores da UPF. Fonte: Kaiser e Bing (2021).



Figura 1: Projeto de exoesqueleto para membros superiores desenvolvido por pesquisadores da UPF. Fonte: Kaiser e Bing (2021).

Para que o peso do exoesqueleto não fosse um empecilho ao usuário buscamos construir a estrutura com materiais leves, resistentes e duráveis, por conseguinte, o material que se mostrou mais viável foi o Alumínio, visto que segundo Meggiolaro (2006) ele apresenta uma boa resistência, rigidez e baixa densidade auxiliando na diminuição total de peso da estrutura. Para que a estrutura se tornasse mais leve, foram utilizados tubos de alumínio, destarte outras características também foram influenciadas, já que os mesmos apresentam extenso uso estrutural e utilizam menos material, sendo encontrados com mais facilidade e por um preço menor.

### **Modelo de Logística**

Quanto ao modelo de logística utilizado pela montadora, deve ser utilizado o sistema de Pull (Sistema empurrado) na qual, segundo ERP Consultoria, os sistemas de produção puxada e empurrada são metodologias opostas, que devem estar de acordo com o funcionamento da empresa. Diferente da produção puxada, o sistema de produção empurrada leva em consideração a previsão de demanda e para isso utiliza estoques e um sistema de lotes.(Epr Consultoria.Produção Puxada).

A abordagem Pull (puxar) consiste, por sua vez, em atrair os clientes usando a força da marca, com gastos menores ou ínfimos em publicidade tradicional.

Traduzindo para a linguagem dos negócios, as marcas podem usar a estratégia Pull para atrair e fidelizar clientes, mantendo-os na sua órbita e estimulando a recompra dos produtos. Por conceito, é uma abordagem oposta à estratégia Push.

O sistema pull se sustenta na comunicação direta entre marcas entre indústrias manufatureiras e clientes, tanto no ambiente online como no offline, formando relacionamentos que atraiam os consumidores para a órbita de influência da marca.

Redes sociais, podcasts, blogs, marketing de conteúdo e outros são alguns dos métodos mais utilizados

Com este tipo de metodologia obtém-se uma cadeia de produção mais fluida e reduz-se o desperdício, reduz-se os stocks e, conseqüentemente, os tempos de inventário. Os tempos ociosos também são reduzidos e o talento humano é potenciado. Além disso, este é um sistema que contribui para a satisfação do cliente, uma vez que se consegue entregar produtos mais personalizados.

Numa perspectiva de competitividade da produção, os sistemas Pull apresentam, contudo, algumas desvantagens. Com a produção a reger-se pela procura, reduz-se significativamente a iniciativa de mercado e a pressão sobre a concorrência. O tempo de produção também pode aumentar, uma vez que os processos produtivos podem ter que ser readaptados, o que pode ser uma tarefa morosa e que exige coordenação entre as várias fases da cadeia de produção.

Isto se traduz em além de uma redução alta de custos, como os de armazenamento, gerando mais produtividade a empresa e mais capital para futuros investimentos, também otimiza o fluxo de mercadorias, agiliza a produção, melhora a produtividade, evita desperdícios, Reduz custos com estoques, mão de obra e armazenamento.

Para que o processo tenha total autonomia ele deve ser regularizado internamente como um organismo independente dos demais setores. Este efeito é dado pela implantação do Kanban que irá representar por intermédio de cartões os variados processos produtivos e seus respectivos volumes. A cada cartão kanban utilizado o sistema vai se ajustando de modo que as operações sejam executadas, ou seja, puxadas pelo consumo. Com um bom sistema Kanban dimensionado podemos então deixar que o processo se regule. A partir deste momento uma nova produção inicia quando temos um novo pedido. Desta maneira o processo é puxado de trás para frente, ou seja, em vez de iniciar a produção do itens pelo primeiro processo sem olhar para o estoque invertemos a visão. A cada novo pedido, será acionado o processo que irá entregar os bens esperados.

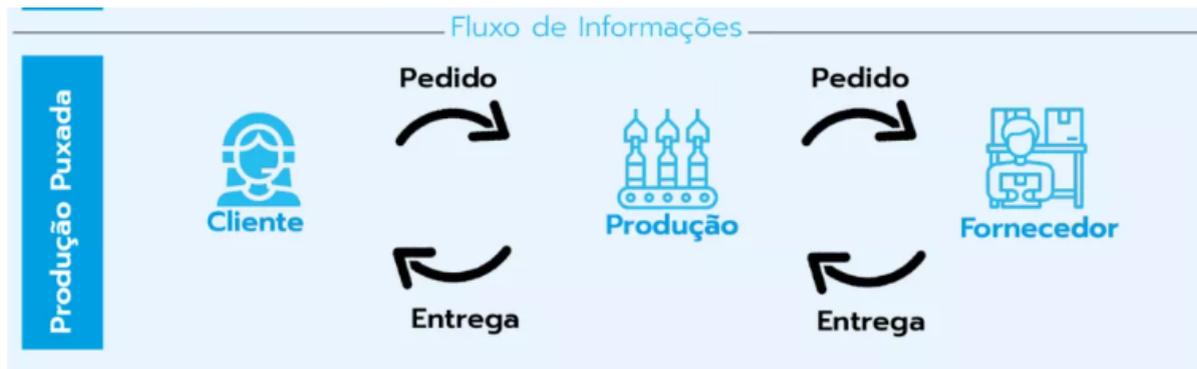


Figura 2 : Fluxo de informações do sistema de produção puxado.

O sistema puxado tipo A é um dos sistemas mais utilizados da produção puxada. Sua aplicação ocorre quando se trabalha com um estoque mínimo. No momento em que se retira o produto desse estoque, o kanban avisa ao fornecedor para que o item seja produzido e reposicionado. Assim, cada processo produz o que é retirado da sua 'prateleira' para repor as unidades correspondentes.

Com esse método é possível sempre ter o produto em mãos para o cliente, ou cliente final, sem ter os custos de estoque. Apesar de ser muito vulnerável a produção desse jeito, se bem esquematizada e estruturada, se torna uma produção muito eficiente em seu meio.

### **Público-Alvo**

O público-alvo destacado neste projeto engloba pessoas desde os 20 anos de idade aos 80-90, tendo em vista que os problemas de saúde relacionados à má postura começam a se acumular a partir de jovens.

### **Lesões causadas pela má postura**

De acordo com a Organização Mundial de saúde 80% da população já teve ou terá dores nas costas, um levantamento realizado pela Organização Mundial da Saúde mostra que somente a dor de cabeça supera a dor lombar. Uma postura correta é essencial para a saúde das pessoas. Sentar de qualquer jeito para trabalhar, assistir

à televisão, dirigir e até mesmo dormir na posição incorreta pode causar dores ou lesões na coluna. O ideal é que o indivíduo mantenha uma postura correta e realize suas atividades laborais com menor gasto energético, menor sobrecarga mecânica para o corpo e, conseqüentemente, uma redução do risco de lesões.

A boa postura está associada à saúde, pois é a posição do corpo que envolve o menor gasto de energia, distribuindo o esforço sobre os vários ossos, músculos, tendões, ligamentos e discos e obtendo o máximo de eficiência do corpo. A manutenção de uma postura inadequada acarreta diversos problemas para o corpo humano, tais como aumento do estresse total e distribuição deste estresse para estruturas menos capazes de suportá-lo, o que resulta em sobrecarga indevida sobre ossos, articulações e músculos (MOFFAT & VICKERY, 2002; KENDALL, McCREARY & PROVANCE, 1995), provoca dores, enrijecimentos, contraturas; limitações aos movimentos, queda do rendimento muscular, propensão a câibras, distensões, tendinites, entre outras (BRICOT, 2001).

Os hábitos rotineiros, desde a forma como dormimos até a posição em que trabalhamos, somados ao sedentarismo e a outras características do estilo de vida, vão impactando fisicamente o corpo. A coluna vertebral, responsável por dar a sustentação necessária para a cabeça e membros superiores, é uma grande vítima desses efeitos da má postura.

## **Preço Final**

Além de ajudar pessoas com limitações motoras, o exoesqueleto também pode ser usado como equipamento de reabilitação na fisioterapia. O custo comercial seria por volta de R\$10 mil, mas o projeto ainda precisa passar por reformulações, inclusive para tornar a movimentação mais orgânica. Uma alternativa para baratear o preço

para cerca de R\$2 mil seria usar fibra de carbono ou fibra de vidro, no lugar do alumínio e também fazer uma redução no grau das movimentações.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A produção de exoesqueletos no Brasil poderá ter uma grande participação no PIB do país, no setor de indústrias, apesar de ser algo relativamente novo. Mesmo assim, a atual situação econômica exige um estudo de viabilidade econômica para atrair empresários ao investimento.

Devido à complexidade da simulação da implantação da indústria e sua logística, a pesquisa apresentou lacunas que podem ser vistas como oportunidades futuras para a realização de trabalhos. A coleta de dados, por exemplo, pode ser um fator a ser ampliado, além da consideração de perspectivas diferentes do empreendimento. Isto é, podem ser adicionadas questões como lead time de processos e fornecedores, além de aperfeiçoamento do layout do produto, para trazer mais conforto ao usuário.

Por fim, pode-se concluir que o presente trabalho atingiu os objetivos inicialmente propostos. Demonstrou como seria realizado o processo de montagem do produto, com o seu layout, o modelo de produção, assim como qual seria seu público-alvo e o seu preço final.

## **REFERÊNCIAS**

SILVA M. , FRANCA L. , PESTILLO L. O USO DE EXOESQUELETOS VESTÍVEIS NA ÁREA DA SAÚDE COM FINALIDADE DE REABILITAÇÃO E BEM-ESTAR DOS INDIVÍDUOS - Encontro Internacional de Produção Científica. Disponível em <https://www.unicesumar.edu.br/anais-epcc-2021/wp-content/uploads/sites/236/2021/11/618.pdf>

LELE, A. Wearable Military Technologies. International Strategic and Security Studies Programme, Bangalore, s/v., n. 30, oct. 2015. MANN, S. Definition of "Wearable Computer". 1998 International Conference on Wearable Computing. Disponível em <http://wearcomp.org/wearcompdef.html>.

MARINI, P. S. S. K. As tecnologias vestíveis de moda e a relação entre humano e não humano. Moda Palavra E-Periódico, v. 10, n. 19, p. 117-139, 2017.

NASCIMENTO, D. et al. Uniformes Modernos (Armaduras e Exoesqueleto). Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 36935-36950, abr. 2021. WU, Q. et al. Design and Fuzzy Sliding Mode Admittance Control of a Soft Wearable Exoskeleton for Elbow Rehabilitation. IEEE Access, [s/l], v. 6, p. 60249-60263, 2018.

ANICETO, C. Como os wearables estão mudando o setor da saúde. Usemobile. Disponível em <https://usemobile.com.br/wearables-setor-da-saude/>.

CAI, S. et al. Materials and Designs for Wearable Photodetectors. Wiley Online Library, [s/l], v. 31, n. 18, p. 1-15, 2019.

CASTANHO, C. Conheça os exoesqueletos usados nas linhas de montagem. Revista Quatro Rodas. Disponível em <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/conheca-os-exoesqueletos-usados-nas-linhas-demontagem/>.

Caula,R. Titan arm assistive exoskeleton wins 2013 James Dyson award. 2013. Disponível em <https://www.designboom.com/technology/titan-arm-exoskeleton-wins-2013-james-dyson-award-11-08-2013/>

LETÍCIA, S. Bolsista da Fapeg desenvolve exoesqueleto de baixo custo para membros superiores. Goiás, 2019. Disponível em <http://www.fapeg.go.gov.br/bolsista-da-fapeg-desenvolve-exoesqueleto-de-baixo-custo-para-membros-superiores/>

WU, Q. et al. Design and Fuzzy Sliding Mode Admittance Control of a Soft Wearable Exoskeleton for Elbow Rehabilitation. IEEE Access, [s/l], v. 6, p. 60249-60263, 2018.