



## Sansão: Um Exoesqueleto de Baixo Custo para Uso em Transportes de carga.

Jorge Luiz Almeida dos Santos<sup>1</sup>, Vandermi João da Silva<sup>2</sup>

### Resumo

O desenvolvimento de tecnologias robóticas para aumento de desempenho dentro de indústrias tem sido alvo de diversos estudos. O presente trabalho visa a pesquisa e desenvolvimento de um exoesqueleto robótico, desenvolvido a partir da reutilização de carcaças de computador inutilizados e que seriam jogados na natureza, em conjunto com a integração de técnicas de atuação mecânica e automação. Visto que os atuadores até então utilizados para construção de exoesqueletos deste porte são extremamente pesados e possuem diversas limitações, neste trabalho a utilização de atuadores mais leves, baratos e resistentes também foram um diferencial. A pesquisa e desenvolvimento de músculos artificiais construídos com tubos de látex e revestido com malha náutica mostraram-se promissoras, necessitando de atualizações para trabalhos futuros, tais como o estudo em relação ao acionamento destes, até então realizado com a utilização de compressores, e a utilização de sensores para tornar o acionamento mais prático e natural.

**Palavras-Chave:** Robótica, Automação, Sistemas Embarcados e Exoesqueleto.

**Sansão: A Low Cost Exoskeleton for Use in Cargo Transport.** The development of robotic technologies for performance enhancement within industries has been the subject of several studies. The present work aims the research and development of a robotic exoskeleton, developed from the reuse of unused computer casings that would be thrown in the wild, together with the integration of mechanical actuation and automation techniques. Since the actuators hitherto used to construct exoskeletons of this size are extremely heavy and have several limitations, in this work the use of lighter, cheaper and resistant actuators was also a differential. Research and development of artificial muscles built with latex tubes and coated with nautical mesh were promising, requiring upgrades for future work, such as the study of their activation, previously performed using compressors, and the use of sensors to make the drive more practical and natural.

**Keywords:** Robotics, Automation, Embedded Systems and Exoskeleton.

---

<sup>1</sup> Discente, ICET, UFAM, [jorgeea.santos@gmail.com](mailto:jorgeea.santos@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Adjunto, ICET, UFAM, [vandermi@ufam.edu.br](mailto:vandermi@ufam.edu.br)



Engenharia

## 1. Introdução

A busca por novas tecnologias empregadas em técnicas e ferramentas que auxiliem os seres humanos em suas atividades tem motivado o estudo de cientistas e pesquisadores ao longo dos anos. Esses estudos vêm sendo aprimorados e o avanço tecnológico está sendo o resultado disso tornando hoje a tecnologia parte do cotidiano, da mais simples atividade, até as mais extensas, como construções de prédios, cirurgias complexas, entre outras atividades que hoje são realizadas de forma precisa com o auxílio nesse contexto da tecnologia robótica (Neto, 2006).

O desenvolvimento de tecnologias robóticas com o intuito de melhorar o desempenho de uma atividade tem sido a pauta de muitos estudos, seja em aplicações de uso doméstico, industrial, urbano, militar, segurança e defesa civil militar, mostrando-se um campo bastante promissor para pesquisa (Wolf et al., 2009). Por possuir diversas aplicações de uso, esta tecnologia pode ser usada para basear estudos e construções de protótipos robóticos autônomos ou não, como é o caso dos exoesqueletos.

Segundo (H. Kazerooni, 2008), exoesqueletos que atuam de acordo com o movimento humano, com o intuito de aumentar a força e/ou resistência fazem parte de uma classe especial de sistemas robóticos em conjunto com mecatrônica vestível, denominados de Exoesqueletos para Aumento de Desempenho Humano (EHPAs). O uso deste tipo de aparato permite a movimentação de quem o veste para que realize atividades que exijam esforço físico intenso sem se cansar ou causar danos ao corpo,

tornando possível a sua utilização para manter um movimento repetitivo de modo mais livre e/ou até mesmo levantar cargas de peso elevado de forma mais segura.

Os trabalhos realizados em diversos setores que exigem o transporte de cargas pesadas de forma manual muitas vezes exigem grande esforço físico, e aumenta o risco de perturbações na saúde do trabalhador causando deficiência na ergonomia (Renner, 2005). Nesse sentido, uma ferramenta robótica que auxilie e que facilite o desenvolvimento de um trabalho de forma mais segura e prática, torna o trabalho mais produtivo o oferece maior qualidade e destreza quanto ao quesito ergonomia, relacionando-se diretamente aos custos da empresa.

A qualidade no desempenho de exoesqueletos é comprometida principalmente quanto à elaboração estrutural do dispositivo, sendo restringida pela tecnologia empregada, pois se utiliza de sistemas de atuação pesados de torque e potência limitados, o que dificulta a naturalidade dos movimentos do usuário, e influencia diretamente de forma negativa na utilização do dispositivo, além da falta de troca direta de informações entre o sistema nervoso do usuário humano e o equipamento, porém a tecnologia neural já tem novas contribuições na área, tornando a comunicação do usuário com o exoesqueleto cada vez mais próxima do tempo real (Herr, 2009), além do que é possível também utilizar a tecnologia conhecida como realidade aumentada (RA), que possibilita criar meios de interação virtuais mas na própria realidade do usuário, visando sempre a naturalidade nos movimentos



Engenharia

realizados, tornando o contato deste com o exoesqueleto uma experiência de sofisticação

Avanços nas pesquisas já permitem a utilização de novos mecanismos mais práticos para a atuação do dispositivo, como é o caso dos Músculos Artificiais Pneumáticos (PAM), que consistem em um tubo de látex revestido por uma camada de fios de nylon trançados, conhecido como malha náutica, que quando pressurizado gera uma deformidade em seu comprimento, empregando força nas extremidades do atuador (Al-Fahaamet al, 2016; Ghobj et al, 2017). A utilização de sistemas pneumáticos tem se mostrado satisfatória na aplicação em exoesqueletos, necessitando contribuições quanto aos graus de liberdade e velocidade com que os movimentos são executados (Garcés, 2013; Ghobj et al, 2017).

Portanto, este trabalho visa a construção de um exoesqueleto baseado em robótica móvel que permita o humano “vestir” e realizar o transporte manual de materiais pesados, sem alterar a sua estrutura corporal e que demande menos custos por ser construído com material barato, resistente e leve, tornando viável a utilização e otimizando o serviço dentro de uma indústria ou setores afins.

## 2. Material e Método

Este capítulo tem como finalidade expor a metodologia utilizada para a construção do exoesqueleto Sansão, contendo passo a passo os processos do desenvolvimento, bem como os materiais utilizados no desenvolvimento.

Segundo (Wazlawick, 2014), a pesquisa científica busca além de analisar os dados observados, suas causas e explicações, e que, portanto são os fatores determinantes desses dados. Dessa forma, a primeira fase engloba a pesquisa bibliográfica, de forma a embasar o tema deste trabalho. Após consulta em bases de dados Nacionais e Internacionais, foi possível localizar um total de

Na segunda fase do projeto, foi arquitetada uma estrutura mecânica visando a mobilidade dos membros superiores.

A terceira fase consistiu da integração de técnicas utilizadas para a atuação de músculos pneumáticos e um mecanismo de injeção de ar pressurizado, que será capaz de mover o conjunto mecânico dando mobilidade e força.

Na quarta fase foi desenvolvido um sistema para automatizar o controle dos músculos pneumáticos e conseqüentemente da estrutura exoesquelética por meio de um microcontrolador, sensores e válvulas.

A junção das fases anteriores deu embasamento para a quinta fase, que consiste em pôr em funcionamento o primeiro protótipo do exoesqueleto Sansão. Ao final desta fase, o protótipo estará funcional e pronto para ser testado, o que leva à próxima fase.

Para validar o protótipo desenvolvido, serão feitos nesta sexta fase testes práticos de desempenho para avaliar as funcionalidades do exoesqueleto com relação à capacidade de força, bem como a sua capacidade de ser vestido com conforto e segurança e assim estabelecer resultados que podem ser avaliados como satisfatórios ou não.

Para que os resultados sejam considerados satisfatórios abordando-se a sétima fase do projeto, o equipamento terá de atender parâmetros de funcionamento já pré-estabelecidos com base em estudos anteriores, e o projeto seguirá à próxima etapa, podendo-se criar parâmetros e protocolos de uso permitindo explanar melhores métodos de utilização do aparato, sempre focando no desempenho de força e conforto do usuário ao vestir o equipamento. Se os resultados não

forem satisfatórios, o processo retornará à etapa de prototipação para correção das falhas apresentadas.

Quando o protótipo for aceito, para finalizar, será feito o relacionamento dos resultados, onde serão feitas comparações com outros estudos já feitos, abordando-se pontos em que o presente trabalho se difere e em quais pontos se assemelha, visando resolver falhas já descritas, catalogando-se as informações levantadas para estudos futuros.

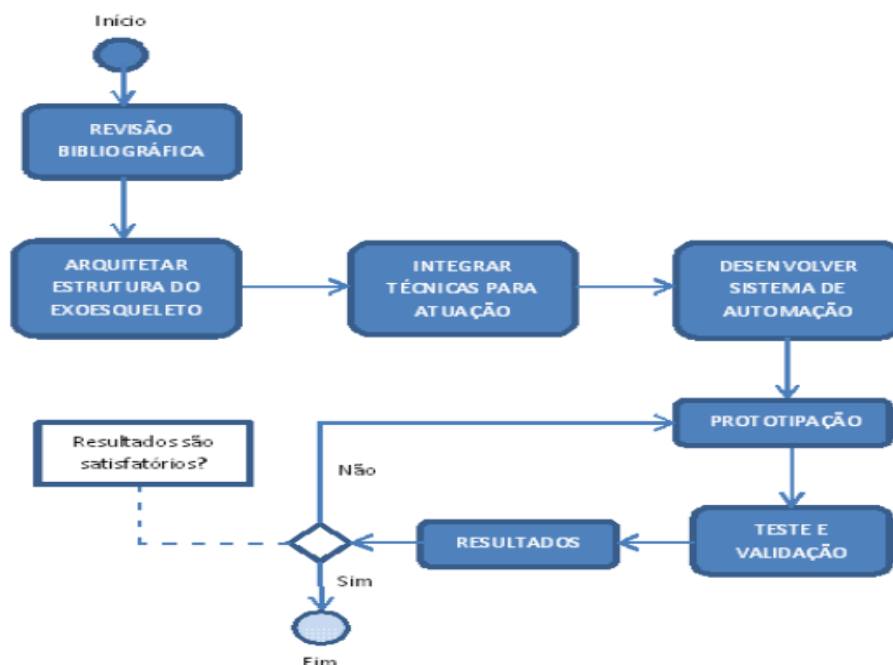


Figura 1: Fluxo de etapas da metodologia a ser adotada

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Arquitetar estrutura do exoesqueleto

Dando início à construção pelo membro superior esquerdo, visto que seriam necessários mais recursos para desenvolver e testar uma plataforma fixa que possui a mesma configuração da estrutura do membro superior. Assim sendo, o que será testado se aplicará da mesma forma aos demais componentes, e futuramente será desenvolvido.

Depois de delimitado o projeto e dentre as várias possíveis estruturas para construção em conjunto com o material a ser utilizado para o primeiro componente do dispositivo, que teria de ser leve e de baixo custo, foi então decidido fazer uso da reciclagem de gabinetes de computadores antigos, carcaças de material composto de alumínio, extremamente leve, barato e que antes seriam descartadas na natureza.

Engenharia



Figura 2 – Carcaça de computadores antigos

De acordo com as dimensões de um braço humano normal, foram mensuradas as medidas necessárias para o recorte das partes compondo a estrutura metálica referente ao braço. Ressaltando que a estrutura metálica deve ser leve, resistente e flexível, além de permitir os movimentos em até 2(dois) graus de liberdade, possibilitando que o ante braço realize em relação ao braço, um movimento que vai de 180° (graus) até os 90° (graus), e além disso permita o livre movimento do braço em relação ao ombro. Foi elaborado esquema seguinte:



Figura 3: Esquema estrutura metálica do membro superior

O esquema acima foi elaborado viabilizando a eficiência do dispositivo, já se observando que no futuro um sistema de atuação deverá ser instalado. Dessa forma, foram utilizadas duas das carcaças de computadores, levando-se em conta o tamanho das peças que resultaram nas partes do dispositivo, estas que foram divididas em duas partes principais: a estrutura do braço e do

antebraço. A estrutura do braço foi construída com a utilização de 6 (seis) tiras recortadas da carcaça, duas dessas tiras possuindo 43 (quarenta e três) centímetros de comprimento por 3 (três) cm de largura, duas medindo 11 (onze) centímetros de comprimento por 3 (três) centímetros de largura, e as duas últimas tiras possuindo 19 (dezenove) centímetros de comprimento por 3 (três) centímetros de largura. Já a estrutura do antebraço foi construída fazendo uso de 4 (quatro) tiras recortadas da carcaça e mais uma “meia tira”, por assim dizer. Duas dessas tiras possuindo 30 (trinta) centímetros de comprimento por 3 (três) centímetros de largura, duas tiras possuindo 42 (quarenta e dois) centímetros de comprimento por 3 (três) centímetros de largura e finalmente uma última tira, medindo 22 (vinte e dois) centímetros de comprimento por 3 (três) centímetros de largura. Além da utilização de 32 parafusos com polca tipo fenda de 0,5 centímetros, para fixação das peças entre si e mais dois parafusos também tipo fenda, porém com tamanho maior, 1,5 centímetros, para realizar a articulação do braço.



Figura 4 – Tiras de metal recortadas das carcaças



Figura 5 – Parafusos utilizados

Depois de construído, foram realizados testes de utilização e movimentação, sendo possível concluir que este equipamento é o ideal para prosseguimento dos testes com atuadores.

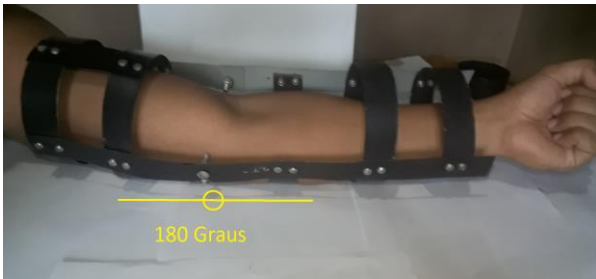


Figura 6 – Utilização de ferramenta realizando um movimento de 180°



Figura 7 – Utilização de ferramenta realizando um movimento de 90°

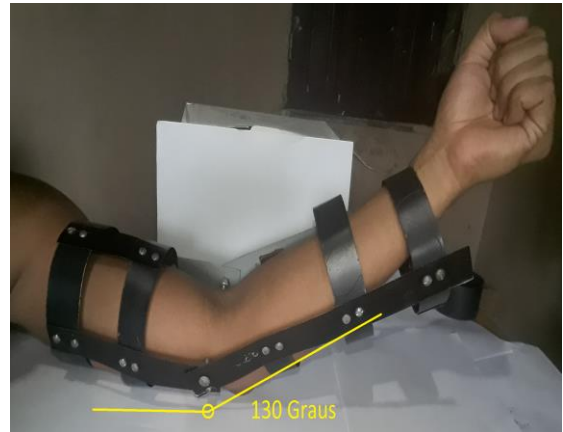


Figura 8 – Utilização da ferramenta realizando um movimento de 130°

Finalizados os testes de movimentação e concluindo o primeiro objetivo específico, avançaremos agora para a integração de técnicas de atuação, conforme previsto no esquema da figura 1. Antes de iniciar testes com os atuadores pneumáticos conforme previsto, faremos um estudo prático para compreender a eficiência da utilização da compressão de ar e também da criação de vácuo como forma de força motriz para atuação do dispositivo, e assim identificar e observar a movimentação da estrutura metálica e a geração de força.

### 3.2 Integrar técnicas de atuação

Para que fossem realizados estes testes, foi desenvolvido um sistema de atuação pouco eficaz, mas que permite observar a mecânica e a lógica do equipamento. Os seguintes testes foram realizados, utilizando-se duas seringas de 20 Mililitros de capacidade, dois parafusos de 2,5 centímetros por 3 milímetros de largura, para fixar os êmbolos das seringas na base da estrutura referente ao antebraço, um compressor de ar pequeno que suporta 127 Volts, utilizado para inflar bexigas para que fossem realizados os testes utilizando ar comprimido.

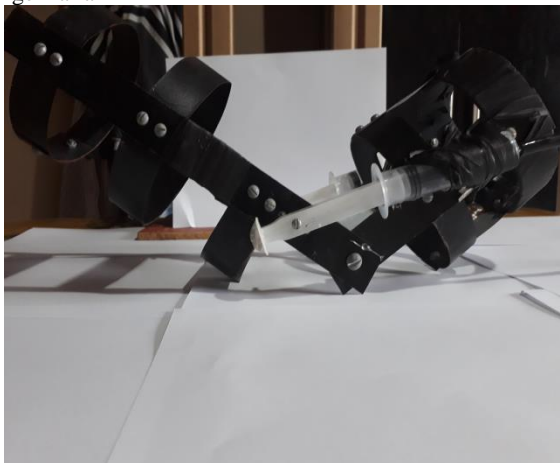


Figura 9 - Materiais utilizados para teste de atuação



Figura 10 - Instalação de seringas para simulação de atuadores pneumáticos



Figura 11 - Compressor 127 Volts utilizado

Após os testes, alguns fatores foram possíveis de serem observados. O primeiro fator é a quantidade de força gerada com a atuação do dispositivo, que ainda não foi de grande significância, mas que possui grande potencial. O segundo fator foi com relação ao movimento do ar pressurizado na seringa, visto que para que haja a atuação, o ar precisa entrar e sair do atuador. Neste caso, a

atuação só acontece quando o ar é forçado a abandonar o interior da seringa, gerando vácuo e conseqüentemente a atuação. O que pode ser notado é que o compressor executa uma força de trabalho muito maior nesta situação por ter que "sugar" o ar de dentro da seringa, tornando inadequado o músculo artificial elaborado com seringa e conseqüentemente a criação de vácuo como força de atuação, neste caso.



Figura 12 - Atuação baseada na sucção de ar (Força). Braço na posição 90°



Figura 13 - Atuação baseada na compressão de ar (Repouso). Braço na posição 180°

Seguindo com os testes, desta vez será utilizado um atuador pneumático elaborado com tubo de látex utilizado em procedimentos médicos e revestido por uma malha náutica geralmente utilizada para revestimento de fiação elétrica. O tubo de látex é um material leve e extremamente resistente que se expande quando inflado, e que porém torna-se frágil conforme a quantidade de ar aumenta em seu interior. A malha náutica por sua vez, quando utilizada como revestimento para o tubo de látex, permite uma atuação mais concentrada nas extremidades do dispositivo e menos

Engenharia

nas laterais. O dispositivo resultante da união desses dois materiais foi um músculo artificial de praticidade notável, visto que é um atuador leve e de considerável poder de atuação. Para construção neste projeto, o tamanho da malha náutica utilizada foi de 1/2'' (Meia polegada).



Figura 14 – Malha náutica



Figura 15 – Tubo de látex

Após a confecção dos músculos artificiais e testes de potencial elástico, foi realizada a instalação dos atuadores na estrutura metálica antes desenvolvida, para testes de força e de precisão de movimentos. Além dos atuadores e da estrutura metálica, foram utilizados conectores de encaixe rápido de 8 Milímetros e dutos flexíveis de ar do mesmo tamanho, para que o ar pudesse fluir do compressor utilizado até os músculos artificiais



Figura 16 - Músculo artificial confeccionado



Figura 18 - Compressor 180 litros, utilizado para testes com músculos artificiais



Figura 17 - Encaixe rápido e dutos flexíveis de ar de 8 Milímetros

Para avaliar a funcionalidade do exoesqueleto, foram feitos testes de acionamento por enquanto sem nenhum tipo de automação, apenas injetando e liberando ar no músculo artificial, optando-se por não colocar nenhum tipo de peso e nem vesti-lo ainda, visando apenas a observação dos movimentos. Após os primeiros testes, foi possível notar que o dispositivo funcionou



Engenharia

de maneira correta sem apresentar falhas ou deformidades na estrutura metálica ou nos músculos artificiais, podendo ser considerado um sucesso. Para realização do segundo teste, foram posicionados pedaços de espuma no interior dos anéis referentes ao braço e ante braço, permitindo uma maior comodidade e aderência ao usar o equipamento. E para realizar testes de força, foram posicionados os pesos de 0,835 Kg e 2,420 Kg, respectivamente, na extremidade da estrutura.

aproximadamente 3 a 4 centímetros do eixo responsável pela movimentação mecânica. Tal falha acontece devido a estrutura apresentar dimensões inadequadas para este tipo de utilização, ou seja, sem um suporte adequado ao eixo de movimentação, a estrutura encurvará e conseqüentemente o teste ruirá. No entanto, deve-se levar em conta que por dentro da estrutura haverá um braço humano, que dará suporte e sustentação na movimentação do equipamento, bem como no momento de realizar um trabalho de força.

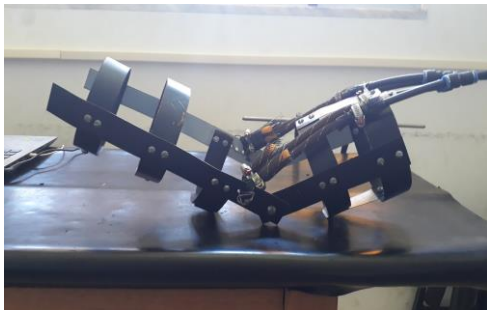


Figura 19 – Primeiro protótipo com atuadores pneumáticos desenvolvido para testes, vista lateral



Figura 20 Primeiro protótipo com atuadores pneumáticos desenvolvido para testes, vista transversal

O exoesqueleto conseguiu suportar sozinho o peso de 0,835 Kg, durante dois acionamentos consecutivos sem apresentar falhas e após o terceiro acionamento observou-se uma pequena deformidade na estrutura metálica na região relacionada ao cotovelo,



Figura 21 – Estado de atuação inicial, onde é possível observar a estrutura em total repouso



Figura 22 – Estado de atuação final, onde é possível observar o exoesqueleto erguer sozinho à aproximadamente 35° do estado inicial, o peso de 0,835 Kg



Figura 23 - A figura mostra o exoesqueleto em funcionamento, músculos inflados e tensionados, suportando um peso de 0,835 Kg. É possível observar as deformidades e o revestimento de poliuretano



Figura 24 - Peso de 0,835 Kg



Figura 25 - Peso de 2,420 Kg

A teoria acima foi posta à prova ao serem realizados testes com o peso de 2,420 Kg, onde pôde ser constatado que a estrutura funciona perfeitamente como suporte ao braço humano e vice versa, funcionando em total harmonia e em conjunto para erguer um peso, 2,420 Kg neste caso específico, alcançando os objetivos 2 e 4 dos objetivos específicos propostos.

### 3.3 Desenvolver sistema de automação

Após realizados os testes de atuação, o projeto seguiu como previsto na metodologia do projeto representada na figura 1 acima, para o desenvolvimento do sistema de

automação do exoesqueleto, que consiste na utilização de um dispositivo para controlar a entrada e saída de ar dentro dos músculos artificiais, bem como o envio do sinal de acionamento para este dispositivo. A princípio, deve-se levar em conta que estamos trabalhando com ar comprimido proveniente de um compressor de ar, e que portanto há necessidade da utilização de uma válvula para controlar o momento da injeção de ar. Neste projeto foi feito uso de uma válvula solenóide com ativação em 12 V (Volts), retorno do tipo mola e de uma posição. Tal válvula permite a passagem de ar de um ponto a outro, a partir do acionamento elétrico da bobina em seu interior.



Figura 26 - Peso sendo de 2,420 Kg sendo levantado pelo usuário com auxílio do exoesqueleto



Figura 27 – Válvula solenoide 3 vias com retorno mola 12V, acionamento manual e elétrico

O acionamento elétrico da válvula solenoide utilizada, permite que esta seja ativada por sensores, relés e neste caso, por um microcontrolador NodeMCU que organiza toda a sequência de ativação, caso contrário, apesar da válvula possuir acionamento elétrico ainda dependeria da ativação manual para funcionar. No decorrer do desenvolvimento, foi esquematizado um modelo de acionamento por sensor, que permite ao usuário flexionar o braço quando um botão for pressionado. Abaixo temos a representação esquemática do circuito desenvolvido, bem como as interações que ocorrem entre sensor, relé, válvula, microcontrolador e músculos artificiais.

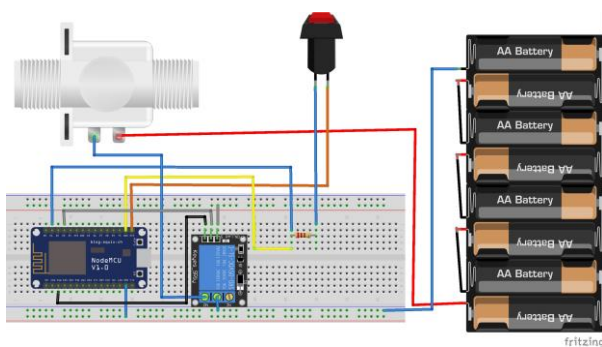


Figura 28 – Diagrama de circuitos utilizado na automação do exoesqueleto. É possível observar o botão de ativação, a válvula solenoide à esquerda do botão, à direita a bateria de moto 12V representada pelo conjunto de baterias interligados, e sobre a protoboard temos o relé de ativação e o módulo

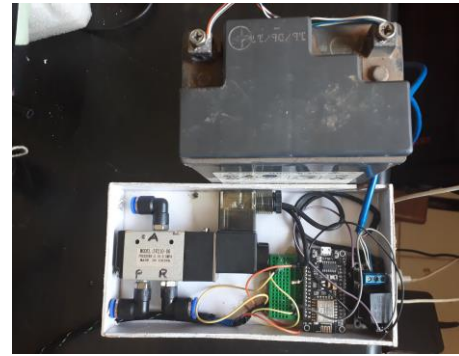


Figura 29– Circuito real desenvolvido

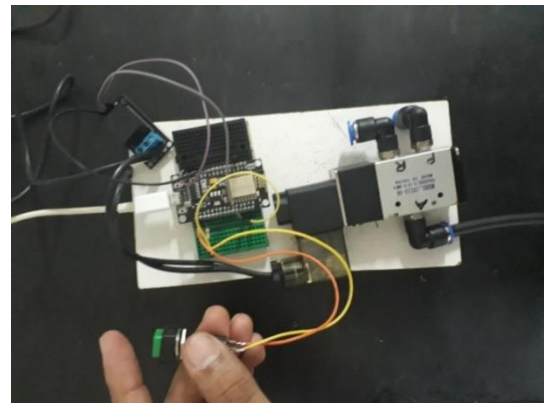


Figura 30 - A imagem mostra o teste de ativação da válvula, neste caso o botão ainda não foi pressionado e por tanto nada aconteceu

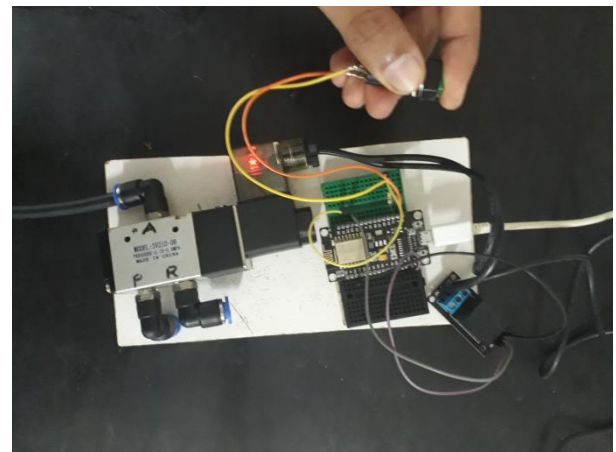


Figura 31 - A imagem mostra o teste de ativação da válvula, e neste caso o botão foi acionado, e um led presente na bobina da válvula acende, demonstrando que o teste foi um sucesso

O acionamento ocorre quando o usuário pressiona o botão posicionado

Engenharia

em sua mão, que envia um sinal de contato para o microcontrolador, que por sua vez ativa o relé responsável pelo acionamento da válvula solenóide e desta forma, permite que o ar comprimido infle os músculos artificiais, flexionando o braço. Para que haja relaxamento do exoesqueleto, basta soltar o botão. Para realizar o acionamento da válvula solenóide é necessária uma fonte de energia de 12V, e portanto foi adaptada à uma bateria de moto para este fim. Assim foi possível alimentar a válvula solenóide, interligando-a à bateria, relé e ao microcontrolador NodeMCU, que foi alimentado com uma corrente de 5 Volts, proveniente de um powerbank adaptado na estrutura. Um botão foi posicionado na lateral esquerda do antebraço para que pudesse ser adaptado confortavelmente no interior do exoesqueleto, e assim encaixar-se na palma da mão.



Figura 33 – Exoesqueleto vista frontal. Posicionamento do botão de acionamento na palma da mão do usuário

Finalizando essa primeira etapa de testes, pode-se observar um considerável avanço no estudo do tema proposto, já possibilitando avaliar estas fases de desenvolvimento do projeto. Vale ressaltar que as demais partes do equipamento não foram desenvolvidas devido ao estudo do comportamento do

primeiro membro construído, e no futuro poderão ser desenvolvidos junto com a primeira parte demonstrada neste relatório.



Figura 32 – Exoesqueleto vista lateral. O botão de ativação foi posicionado no exoesqueleto de forma a não impedir a movimentação, encaixando-se na mão do usuário

Para melhor utilização do exoesqueleto, o circuito foi adaptado a um estojo e posto em uma mochila junto com a bateria, diminuindo a quantidade de componentes expostos e protegendo a integridade dos equipamentos, e assim concluindo o terceiro objetivo específico do projeto.



Figura 34 – A imagem exibe o Exoesqueleto Sansão em fase final de desenvolvimento, onde é possível observar a adaptação realizada utilizando uma mochila para melhor desempenho.

#### 4. Conclusão

Para concluir o trabalho, é possível ressaltar diversos pontos importantes e bastante promissores para trabalhos

Engenharia

futuros. A quantidade de material utilizado para desenvolver o projeto resultou em uma boa avaliação quanto a custo, peso do protótipo e funcionamento. A experiência de desenvolvimento do projeto Sansão buscou ser produtiva e enriquecedora ainda mais o estudo no campo da Robótica,

À respeito do material utilizado para construir a estrutura metálica do exoesqueleto, foi possível notar que possui eficiência e os resultados comprovam que a sua utilização é extremamente promissora, levando-se em conta que tratam-se de materiais de carcaça de computadores que seriam descartados. A construção, no entanto, encontrou algumas falhas com a relação à espessura do material, que não suportou a quantidade esperada peso, pelo fato de não possuir um suporte adequado em sua base de construção, como foi demonstrado na *Figura 21*, situação esta que foi sanada com o uso do equipamento.

Para desenvolver a construção dos músculos, foi utilizada como revestimento uma malha náutica de ½ polegada, que mostrou-se pouco eficiente devido ao fato do tubo de látex expandir quase o triplo do seu tamanho quando inflado separadamente. Isso influencia diretamente no desempenho do equipamento, fazendo com que o músculo artificial não atue em seu máximo. Para trabalhos futuros, será empregada uma malha náutica mais calibrosa, que permita maior expansão do tubo de látex.

O sistema de automação desenvolvido permitiu uma interação em tempo real do usuário, porém com o exoesqueleto, porém para deixar ainda mais natural, para trabalhos futuros, a utilização de sensores musculares ou neurais será imprescindível. Mesmo sem a utilização destes, foram possíveis vários testes de execução de movimentos.

O projeto Sansão conseguiu alcançar os objetivos propostos

inicialmente, visto que os três primeiros objetivos foram alcançados nas etapas anteriores, e o quarto objetivo específico foi alcançado junto com a segunda etapa de desenvolvimento.

À respeito das etapas de prototipação, teste e validação e resultados foram incorporadas dentro das etapas anteriores, sendo possível determinar com mais precisão nos processos.

#### **4.1 Limitações**

A principal limitação encontrada no desenvolvimento do projeto Sansão foi quanto ao fornecimento de ar comprimido necessário para inflar os músculos artificiais, visto que o compressor utilizado para este fim é extremamente pesado para que um usuário possa usá-lo livremente. No entanto para trabalhos futuros, essa grande limitação será incorporada a outro estudo, sendo possível a avaliação do uso de acionadores de airbags, ou a utilização do mesmo compressor, porém em ambiente controlado, como por exemplo um galpão.

#### **Agradecimentos**

Em primeiro lugar a Deus pela vida, saúde e inteligência a mim providas, à minha família, que sempre me incentivou e esteve comigo em todos os momentos, ao meu orientador professor Doutor Vandemi João pelo apoio e incentivo nas horas mais conturbadas do projeto, e à minha noiva Delyane D'eliaporser a minha maior e melhor amiga, ao Lab PIXGO, Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – ICET, À Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

#### **Divulgação**

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista



Engenharia

*Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

## Referências

AL-FAHAAM, Hassanin; DAVIS, Steve; NEFTI-MEZIANI, Samia.

**Wrist rehabilitation exoskeleton robot based on pneumatic soft actuators. In: Student on Applied Engineering (ICSAE), International Conference for. IEEE, 2016. p. 491-496.**

Fontana, M., Vertechy, R., Marcheschi, S., Salsedo, F., & Bergamasco, M. (2014). **The body extender: A full-body exoskeleton for the transport and handling of heavy loads.** *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 21(4), 34-44.

GARCÉS, Daniela Sofia Cruz. **EXOESQUELETO ROBÓTICO PARA AUMENTAR A CAPACIDADE FÍSICA DO MEMBRO SUPERIOR HUMANO.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GHOBJ, Sarah et al. **Mechanical design for a cable driven upper limb exoskeleton prototype actuated by pneumatic rubber muscles.** In: Research and Education in Mechatronics (REM),

*Scientia Amazonia*, v.11, n.1, E1-E14, 2022

Revista on-line <http://www.scientia-amazonia.org>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7114603> - ISSN:2238.1910

2017 International Conference on. IEEE, 2017. p. 1-7.

H. Kazerooni, **"Exoskeletons for human performance augmentation,"** in **Springer Handbook of Robotics**, B. Siciliano and O. Khatib, Eds. Berlin Heidelberg, Germany: Springer, 2008, pp. 773-794.

HERR, Hugh. **Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions.**

*Journal of neuroengineering and rehabilitation*, v. 6, n. 1, p. 21, 2009.

NETO, F. L.; **ESTRUTURAS, Compósitos. Ciencia e Tecnologia.** Sao Paulo, Edgard Blücher, 2006.

RENNER, Jacinta Sidegun. **Prevenção de distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho.** *Boletim da saúde*, v. 19, n. 1, p. 73-80, 2005.

Wazlawick, Raul Sidnei, 1967 – **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**/Raul Wazlawick – 2. Ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

WOLF, Denis Fernando et al. **Robótica móvel inteligente: Da simulação às aplicações no mundo real.** In: **Mini-Curso: Jornada de Atualização em Informática (JAI)**, Congresso da SBC. sn, 2009. p. 13.