

## PLANEJADOR DE CAMINHOS COM UM SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE BURACOS PARA O EXOESQUELETO ROBÓTICO ORTHOLEG 2.0

José Lindenberg de Andrade, [lindenberg.andrade.103@ufrn.edu.br](mailto:lindenberg.andrade.103@ufrn.edu.br)<sup>1</sup>

Márcio Valério de Araújo, [marcio.araujo@ufrn.br](mailto:marcio.araujo@ufrn.br)<sup>1</sup>

Pablo Javier Alsina, [pablo@dca.ufrn.br](mailto:pablo@dca.ufrn.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av. Senador Salgado Filho, nº 3000 – CEP: 59078-970

**Resumo:** Contemporaneamente, existe uma crescente demanda por exoesqueletos robóticos de membros inferiores para auxiliar pessoas com dificuldades de locomoção. Esse tipo de dispositivo robótico deve ser o mais inteligente e eficiente possível, capaz de adaptar-se aos mais diversos tipos de ambientes e trajetos, garantindo uma caminhada mais autônoma, segura, levando em conta também a questão do conforto para o usuário. Partindo deste pressuposto, este trabalho tem como finalidade principal apresentar um algoritmo para planejamento de passos com a capacidade de calcular a possibilidade do usuário, com o exoesqueleto robótico Ortholeg 2.0, transpor eventuais buracos de forma autônoma, através da modificação do tamanho do passo do exoesqueleto, durante a realização de uma caminhada em um determinado trajeto. Esse algoritmo recebe informações sobre o percurso como, por exemplo, a existência ou não de buracos, suas dimensões como largura e comprimento e a distância do usuário até o buraco. Com base nisso, é feito todo o planejamento das passadas caso seja possível a locomoção do exoesqueleto neste trajeto específico. Além disso, o algoritmo é capaz de identificar se existem um ou mais buracos próximos, e com isso, se há a possibilidade de transpassá-los todos de uma única vez, ou se é possível transpassar um por vez ou, ainda, se não existe a possibilidade de transpô-los de forma alguma. O algoritmo utiliza também, um conjunto de dados antropométricos, como o tamanho máximo do passo ou da passada desejada, a altura do usuário e as dimensões máximas dos buracos que podem ser transpostos, para, com isso, gerar um padrão de marcha personalizável para cada usuário do exoesqueleto robótico Ortholeg 2.0. Após o processamento das informações do trajeto, é informado para o usuário do exoesqueleto robótico o *footstep print plans* que é um plano de caminhadas ao longo do referido caminho, mostrando como será o deslocamento do exoesqueleto pelo ambiente. O algoritmo também é dotado de um gerador de referências angulares para as articulações ativas do exoesqueleto, para que o controlador embarcado possa executar os movimentos planejados conforme o *footstep print plans*.

**Palavras-chave:** Exoesqueleto Robótico, Transposição de buracos, Plano de caminhadas.

### 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de exoesqueletos robóticos para auxiliar pessoas com algum tipo de dificuldade motora em membros inferiores é crescente em todo o mundo (Mingori *et al.*, 2021). Segundo a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) feita em 2019, no Brasil existem cerca de 7,8 milhões de pessoas com dificuldade de locomoção nos membros inferiores (Agência IBGE, 2021) e a sua quase totalidade depende de cadeiras de rodas, muletas e/ou auxílio humano para locomoverem-se, além de não conseguirem realizar algumas tarefas essenciais do cotidiano, como subir e descer degraus e transpassar obstáculos.

Dispositivos ortopédicos inteligentes, como cadeiras de rodas inteligentes (Silva *et al.*, 2021), próteses robóticas (Jiménez, 2021) e os exoesqueletos robóticos (Calabrez *et al.*, 2018), capazes de levar o usuário a realizar tarefas, antes limitadas por causa da situação física dos membros motores, tem sido desenvolvido por inúmeras instituições nos últimos anos (Madruga *et al.*, 2020). Cada dispositivo é voltado para um público alvo, levando em conta as dificuldades que cada pessoa deficiente apresenta para locomover-se.

O Exoesqueleto Robótico Ortholeg 2.0 é um desses dispositivos que foram desenvolvidos nos últimos anos (Araújo *et al.*, 2015), ele é uma melhoria da sua versão anterior, apresentando uma melhor estrutura mecânica e possuindo a capacidade de se ajustar para diversos tamanhos de usuários (Gloger *et al.*, 2015), além de ser dotado de um conjunto de sensores, atuadores, uma arquitetura de hardware embarcada, uma interface homem-máquina e um software de controle com um Sistema de Auxílio à Locomoção (SAL) que auxilia o usuário durante o percurso desejado.

Um ambiente composto por diversos tipos de obstáculos é um desafio para usuários de exoesqueletos robóticos de membros inferiores que almejam realizar uma caminhada segura. Nesse sentido, o exoesqueleto Ortholeg 2.0, a partir do SAL, pode auxiliar essas pessoas a efetuarem um trajeto, conseguindo transpassar obstáculos, como buracos, de forma segura e eficiente.

Dentre outras coisas, o SAL auxilia o usuário do exoesqueleto Ortholeg 2.0 também na transposição de buracos, ajustando o tamanho dos passos ao decorrer do percurso, permitindo que o usuário transponha obstáculos com até um determinado tamanho. Caso não seja possível efetuar a transposição do mesmo, o SAL informa ao usuário para que outra ação seja tomada.

O planejamento de passos é feito pelo SAL considerando, além de dados antropométricos do usuário, como sua altura, por exemplo, como também as informações das dimensões dos obstáculos ao longo do trajeto. A partir dessas informações, o SAL apresenta ao usuário o planejamento feito, denominado de *footstep print plans* que nada mais é do que a sequência de passos dados ao longo do percurso (posição dos pés ao longo do caminho considerando a possibilidade de transpor os eventuais obstáculos), no qual é possível observar informações da variação do tamanho dos passos ao decorrer do caminho realizado.

Com o *footstep print plans*, o usuário consegue verificar previamente como será efetuada a caminhada durante o percurso, e ele decide se quer ou não realizar o caminho proposto.

Com isso, a finalidade desse trabalho é apresentar como o SAL pode auxiliar um usuário do exoesqueleto robótico Ortholeg 2.0 a transpassar com segurança eventuais buracos, quando possível, levando em conta as dimensões do buraco e a variação do tamanho do passo do exoesqueleto.

## 2. METODOLOGIA

Para que exoesqueletos robóticos transpassem obstáculos, como um buraco, é preciso que o passo seja ajustado ao longo do percurso. Partindo desse pressuposto, foi preciso analisar o processo de caminhada de uma pessoa saudável buscando compreender como ela consegue transpor um obstáculo do tipo buraco.

Ao analisar o processo de caminhada, a partir de um estudo que mostra que uma pessoa humana saudável ao caminhar de um ponto inicial até um final, o tamanho do seu passo varia para se ajustar ao percurso. Foi identificado que uma pessoa ao percorrer um trajeto qualquer, ela realiza um conjunto de passos com tamanho constante e na medida que ela vai se aproximando do obstáculo o tamanho do seu passo vai diminuindo para se ajustar ao percurso final (Araújo, 2015).

A região com tamanho de passo constante é a região inicial onde praticamente não há variação da amplitude do passo, e a região com tamanho do passo variado, como o próprio nome já diz, é aquela região mais próxima do obstáculo no qual o tamanho do passo vai decaindo gradativamente para se ajustar ao ponto de chegada, conforme mostra a Fig. 1 onde é importante destacar que o tamanho do passo ( $S_m$ ) é a distância da ponta de um pé, que pode ser o pé direito ou o pé esquerdo, até a ponta do outro ao longo de uma caminhada, nesta figura é possível identificar a região do percurso com passo constante e a região com passo variado, onde  $S_m > S_m' > S_m'' > S_m'''$ .

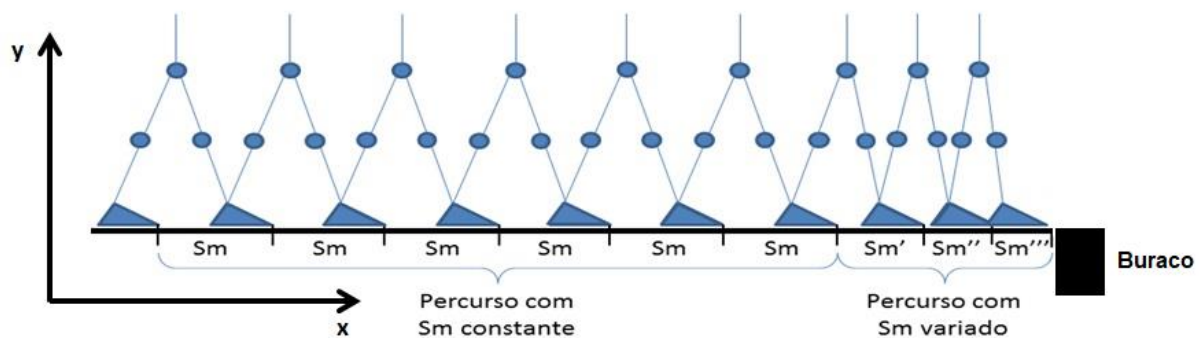


Figura 1. Variação do tamanho do passo de uma pessoa saudável, partindo de um ponto inicial até um ponto final próximo a um buraco.

Esse comportamento humano observado, foi implementado no algoritmo do Sistema de Auxílio à Locomoção (SAL) para que o usuário do exoesqueleto robótico Ortholeg 2.0 possa caminhar de um ponto inicial até um ponto final, que pode ser, por exemplo, antes de um buraco ou de algum outro tipo de obstáculo, de forma mais antropomórfica possível. Foi convencionado, de forma a simplificar o comportamento, que os últimos passos serão diminuídos de forma gradativa.

As dimensões de um buraco precisam ser conhecidas, pois para transpassá-lo o usuário precisa ter um tamanho de passo maior do que o comprimento do obstáculo, caso não tenha, é impossível que o mesmo seja transposto. Algumas dimensões do buraco precisam ser conhecidas, como largura e comprimento, haja vista que a profundidade não influencia na sua transposição pois para que o usuário passe por este tipo de obstáculo, ele precisa que o tamanho do passo seja maior que o comprimento do buraco.

## 2.1. Sistema de Auxílio à Locomoção (SAL)

Como mencionado anteriormente, o SAL é uma ferramenta computacional desenvolvida para o exoesqueleto robótico Ortholeg 2.0, cujo um dos objetivos é fazer o planejamento das passadas do usuário ao longo de um caminho, auxiliando o usuário na tomada de decisões e informando quando for possível transpor alguns obstáculos, como por exemplo, um buraco. Este algoritmo embarcado no sistema computacional do exoesqueleto, utiliza dados antropométricos do usuário como a altura, para gerar o tamanho de passo máximo e além de outros, a fim de gerar uma caminhada mais antropomórfica. O SAL também fornece ao usuário o *footstep print plans* que se trata de uma representação gráfica da caminhada.

O SAL leva em conta alguns parâmetros para calcular se é possível ou não transpor o buraco, como, por exemplo, o tamanho do pé do usuário ( $S_p$ ) que está diretamente relacionado com a sua altura, o tamanho máximo do passo ( $S_{mp}$ ), o comprimento do buraco ( $S_b$ ), dentre outros fatores. E por questões de segurança, para evitar que o usuário toque na borda do buraco é acrescentado um fator de segurança ( $u$ ) que pode ser ajustado, e que no caso específico deste algoritmo foi definido o valor de 0,02 m. O valor do  $S_{mp}$  depende da altura do usuário, pois em tese, quanto mais alta for uma pessoa, maior é o tamanho máximo de sua passada em virtude do comprimento dos seus membros inferiores. Toda vez que o SAL comprovar que  $S_{mp} \geq (2u + S_p + S_b)$  o obstáculo pode ser transposto com segurança. A Figura 2 apresenta esses principais parâmetros dimensionais que são levados em conta pelo SAL para fazer o planejamento das passadas e informar ao usuário se é possível ou não transpassar o referido obstáculo.

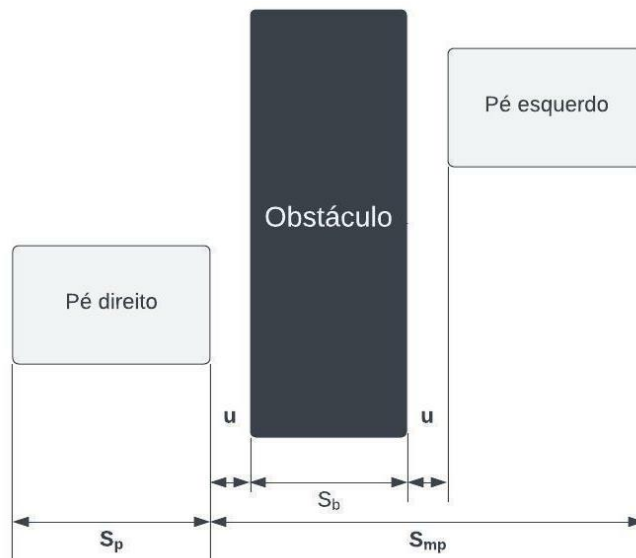


Figura 2. Principais parâmetros considerados para a transposição de um obstáculo do tipo buraco.

### 2.1.1 Footstep print plans

O SAL é dotado de uma ferramenta chamada de *footstep print plans*, cuja finalidade é apresentar ao usuário de forma gráfica como será realizado o percurso, do ponto inicial do trajeto até o final, visando informar ao usuário se é possível ou não realizar uma determinada caminhada segura, como transpassar um buraco mostrando a posição dos pés ao longo do caminho, os obstáculos presentes, o tamanho do passo, as regiões de passo constante e de passo variado.

O trajeto geralmente é separado em duas partes, uma parte com o tamanho do passo constante e a outra com o tamanho do passo variado que são geralmente os últimos três, quatro ou cinco passos da caminhada, a depender do tamanho do percurso. A Figura 3 mostra um exemplo do *footstep print plans* para um percurso de 4,15 metros sem obstáculos, no qual o usuário do exoesqueleto caminha em linha reta do ponto inicial até o final. Os retângulos representam os pés do usuário, onde é possível verificar a posição dos passos dados em relação ao percurso.

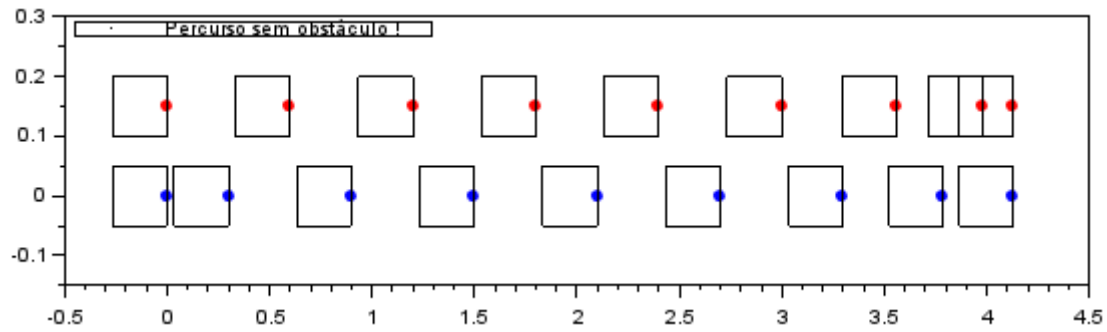


Figura 3. *Footstep print plans* apresentando a posição dos pés ao longo de um percurso para uma distância de 4,15 m.

Na prática, os buracos apresentam geometrias não definidas, com formatos e tamanhos os mais diversos possíveis, mas por questão de simplificação no *footstep print plans*, ele é representado como um retângulo, no qual contém em seu interior o buraco. Além disso, o *footstep print plans* informa ao usuário a existência de um buraco através de uma mensagem de texto e se aquele buraco pode ou não ser transposto, como apresenta a Fig. 4.

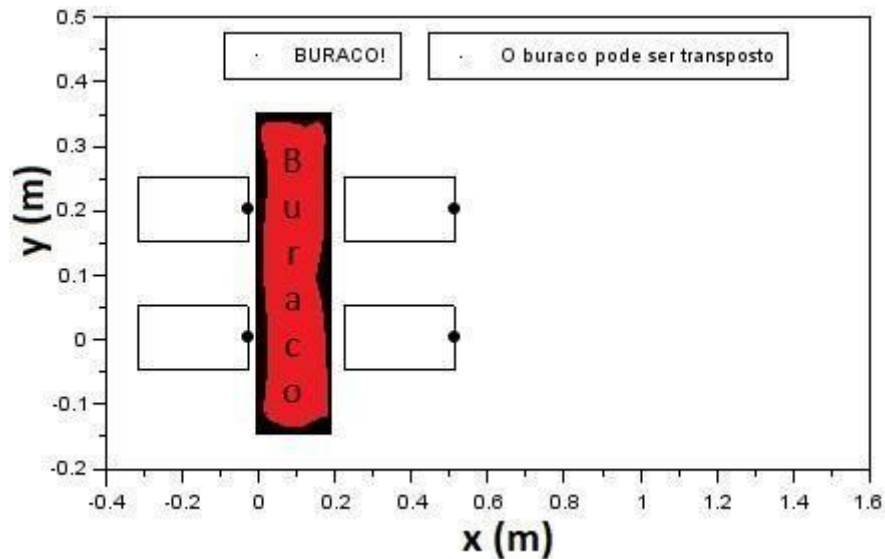


Figura 4. Configuração de um buraco no *footstep print plans*, no qual a forma do buraco real aparece em vermelho dentro do retângulo preto que é o buraco ajustado no formato do *footstep print plans*.

Quando há mais de um buraco ao longo do trajeto o SAL verifica, além dos seus comprimentos, a distância entre eles e com base nisso calcula se é possível transpassá-los todos de uma única vez, ou se é possível transpassar um por vez ou, até mesmo, se é impossível realizar tal tarefa.

## 2.2. Condições para transposição

Para as situações que possibilitam o usuário transpassar um buraco presente em um trajeto, é preciso verificar se o tamanho do buraco é menor que o tamanho do passo máximo acrescido das margens de segurança como mencionado anteriormente, com isso, o SAL leva em consideração basicamente quatro casos distintos.

- **Caso 1.** Havendo um buraco, cujo comprimento dele seja passível de ser transposto.
- **Caso 2.** Quando há mais de um buraco em sequência eles poderiam ser aproximados para um único obstáculo, e caso o comprimento total fosse menor que o tamanho do passo máximo eles poderiam ser transpostos de uma só vez.
- **Caso 3.** A existência de mais de um buraco, por exemplo dois deles, cujo comprimento de ambos é menor que o tamanho do passo máximo e também, que exista uma distância entre o primeiro e o segundo buraco suficiente para que o usuário coloque o pé entre os dois obstáculos de forma segura.
- **Caso 4.** Situações diversas onde não há possibilidade de transpor os obstáculos detectados.

### 3. RESULTADOS

Como foi anunciado na metodologia, existem várias situações onde é possível, ou não, transpor buracos. Dessa forma, foram feitas várias simulações de percursos com diferentes quantidades e tamanhos de buracos. Os resultados do planejamento da caminhada, gerados pelo SAL são exibidos através do *footstep print plans* e para facilitar a compreensão os resultados seguirão os 4 casos mencionados na metodologia.

Para todas as simulações, foram utilizados dados comuns apresentados na Tab. 1 e para cada situação específica foram alterados basicamente os comprimentos e as quantidades de buracos.

Tabela 1. **Dados gerais fornecidos ao algoritmo para realização da simulação.**

|                                                |       |
|------------------------------------------------|-------|
| Altura do usuário (H)                          | 1,75m |
| Comprimento do pé ( $S_p$ )                    | 0,26m |
| Tamanho máximo do passo ( $S_{mp}$ )           | 0,36m |
| Distância do ponto inicial até o obstáculo (D) | 3,50m |
| Largura do buraco ( $L_b$ )                    | 0,50m |
| Margem de segurança (u)                        | 0,02m |

- Caso 1: Trajeto com um buraco transponível.**

Nesta simulação, o SAL realiza o planejamento dos passos considerando apenas um buraco ao longo do percurso, levando em conta os dados da Tab.1 e da Tab. 2 no qual, existe apenas um buraco, que é menor que o comprimento máximo do passo para transpor o buraco, sendo assim possível a transposição do mesmo.

Tabela 2. **Dados específicos para este trajeto fornecidos ao SAL para simulação do Caso 1.**

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| Comprimento do buraco ( $S_b$ )            | 0,20m |
| Quantidade de buracos no trajeto ( $N_b$ ) | 1     |

Na Figura 5 é possível observar o resultado obtido, onde o buraco é transposto levando em conta os dados da tabela fornecidos ao SAL. É possível notar também que a legenda do *footstep print plans* obtido, fornece ao usuário de imediato a informação se é possível ou não realizar o trajeto com as condições pré-definidas considerando uma caminhada antropomórfica.

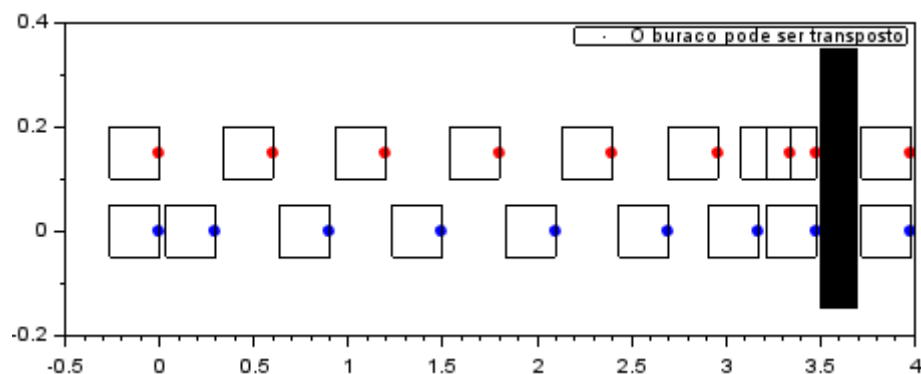


Figura 5. **Imagem do *footstep print plans*, gerada pelo SAL, exibida ao usuário para o trajeto do Caso 1 com um buraco transponível.**

- Caso 2: Trajeto com a presença de buracos próximos passíveis de transposição**

Para este caso 2, onde existem dois buracos no trajeto, conforme os dados da Tab. 1 e da Tab. 3, o SAL verificou se foi possível transpassar todos de uma única vez, considerando que o comprimento máximo do passo para transpor o buraco satisfaz a condição.

Tabela 3. **Dados fornecidos ao algoritmo para obtenção do Caso 2.**

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| Comprimento do buraco 1 ( $S_{b1}$ )       | 0,10m |
| Comprimento do buraco 2 ( $S_{b2}$ )       | 0,10m |
| Quantidade de buracos no trajeto ( $N_b$ ) | 2     |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Distância entre os buracos ( $D_b$ ) | 0,10m |
|--------------------------------------|-------|

A Figura 6 apresenta o resultado do *footstep print plans* obtido pelo SAL com a informação que os dois buracos podem ser transpostos de uma única vez.

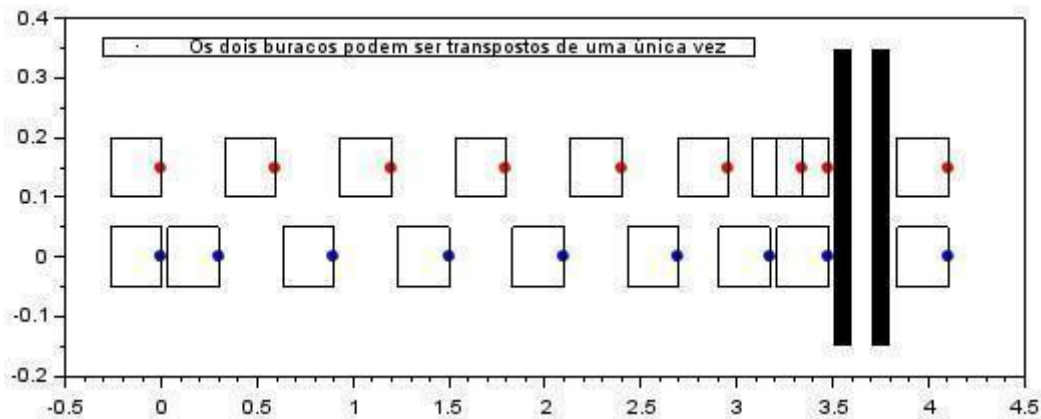


Figura 6. Imagem do *footstep print plans*, gerada pelo SAL, exibida ao usuário para o trajeto do Caso 2 com dois buracos próximos passíveis de transposição.

- **Caso 3. Trajeto com a presença de dois buracos, onde somente é possível transpassar um por vez.**

Para esse caso que há a existência de dois buracos e seguindo os dados da Tab. 1 e da Tab. 4, é possível transpor um obstáculo por vez, levando em conta que a distância entre os dois buracos é maior que o  $S_p$  e que o comprimento de cada um dos buracos é menor que o  $S_{mp}$ .

Tabela 4. Dados fornecidos ao algoritmo para obtenção do Caso 4.

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| Comprimento do buraco 1 ( $S_{b1}$ )       | 0,20m |
| Comprimento do buraco 2 ( $S_{b2}$ )       | 0,20m |
| Quantidade de buracos no trajeto ( $N_b$ ) | 2     |
| Distância entre os buracos ( $D_b$ )       | 0,30m |

Na Figura 7 o *footstep print plans* do caso 3 é apresentado, onde a legenda informa que ambos os buracos foram transpostos um por vez.

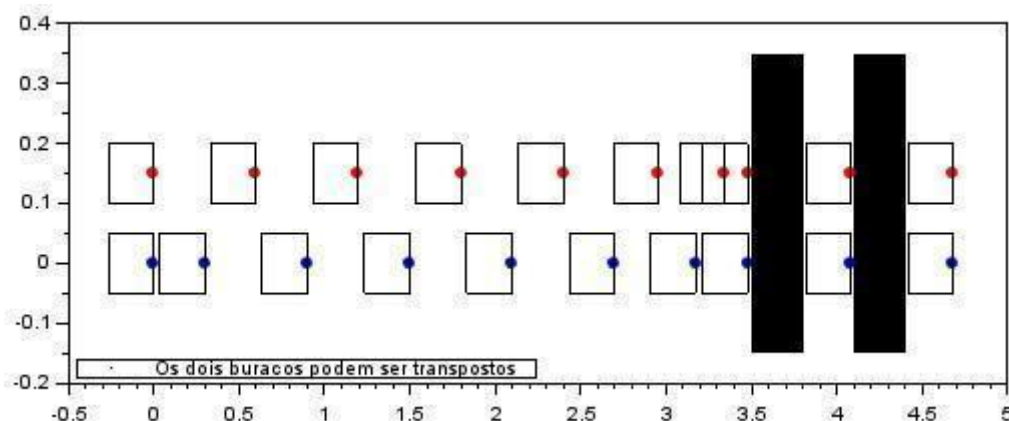


Figura 7. Imagem do *footstep print plans*, gerada pelo SAL, exibida ao usuário para o trajeto do Caso 3 com dois buracos próximos, onde é possível transpor um por vez.

- **Caso 4: Situações onde não é possível a transposição de um ou mais buracos presentes no percurso**

Existem algumas situações onde não é possível a transposição de um obstáculo do tipo buraco, em um percurso com a presença de um ou mais deles. Nesse sentido, é apresentado três dessas situações que podem acontecer ao decorrer de uma caminhada.

**a) O tamanho de um único buraco é maior que o tamanho do passo máximo**

Para a obtenção do resultado deste caso, foi fornecido ao SAL os dados presentes no trajeto, conforme mostra a Tab. 1 e a Tab. 5, onde para satisfazer essa situação a largura do buraco é maior que o comprimento máximo para transpor o buraco.

Tabela 5. Dados específicos para este trajeto fornecidos ao algoritmo para obtenção do Caso 4a.

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| Comprimento do buraco ( $S_b$ )            | 0,40m |
| Quantidade de buracos no trajeto ( $N_b$ ) | 1     |

A Figura 8 apresenta o resultado obtido, onde o buraco não é transposto, considerando os dados das tabelas utilizadas, para este caso, fornecidos ao SAL. E a legenda do *footstep print plans* obtido, informa ao usuário que não é possível.

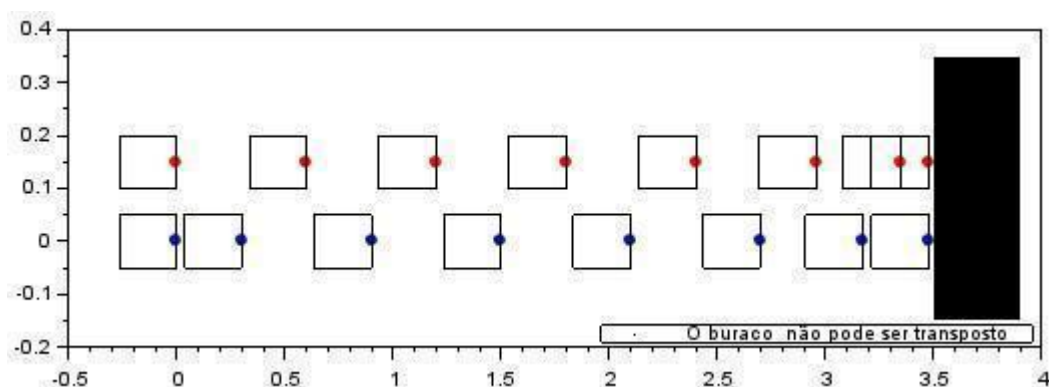


Figura 8. Imagem do *footstep print plans*, gerada pelo SAL, exibida ao usuário para o trajeto do Caso 2 com um buraco não transponível.

**b) Presença de dois buracos próximos, onde a distância entre os dois buracos é menor que o tamanho máximo do passo, não cabendo o pé do usuário**

Nesta situação, onde seguindo os dados da Tab. 1 e da Tab. 6, com a presença de dois buracos, a soma da largura dos dois buracos mais a distância entre eles é superior ao  $S_{mp}$ , assim é impossível transpor todos de uma vez ou um por vez, ou ainda, transpor somente o primeiro, pois não cabe o pé do usuário na distância entre os buracos.

Tabela 6. Dados específicos para este trajeto fornecidos ao algoritmo para obtenção do Caso 4b.

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| Largura do buraco 1 ( $S_{b1}$ )           | 0,20m |
| Comprimento do buraco 2 ( $S_{b2}$ )       | 0,30m |
| Quantidade de buracos no trajeto ( $N_b$ ) | 2     |
| Distância entre os buracos ( $D_b$ )       | 0,10m |

O *footstep print plans* do caso 4b é apresentado na Fig. 9, e nele é apresentado ao usuário que os buracos não podem ser transpostos, para a situação definida no SAL.

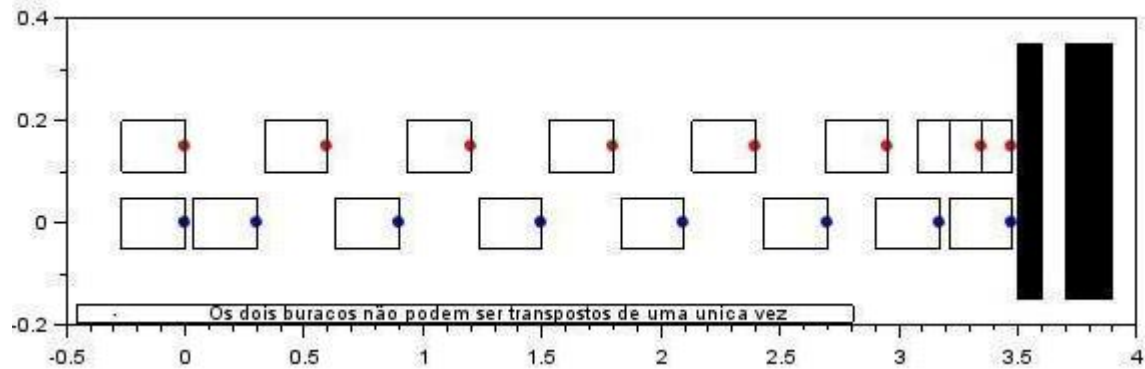


Figura 9. Imagem do *footstep print plans*, gerada pelo SAL, exibida ao usuário para o trajeto do Caso 4b com dois buracos não transponíveis.

c) Situação com a presença de dois buracos, onde é possível transpor o primeiro obstáculo e colocar os pés entre os dois buracos, mas não é possível transpor o segundo.

Neste caso, é definido no SAL, conforme os dados da Tab. 1 e da Tab. 7, uma situação com dois buracos, no qual é possível transpor o primeiro buraco, pois  $S_{b1}$  é menor que  $S_{mp}$  e  $D_b$  também é maior que  $S_p$ , porém  $S_{b2}$  é maior que  $S_{mp}$ , assim não é possível transpassar o segundo buraco.

Tabela 7. Dados fornecidos ao algoritmo para obtenção do Caso 4c.

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| Comprimento do buraco 1 ( $S_b$ )          | 0,30m |
| Comprimento do buraco 2 ( $S_{b2}$ )       | 0,37m |
| Quantidade de buracos no trajeto ( $N_b$ ) | 2     |
| Distância entre os buracos ( $D_b$ )       | 0,30m |

O *footstep print plans* dessa situação é apresentado na Fig. 10, no qual informa ao usuário que não é possível transpor o segundo buraco.

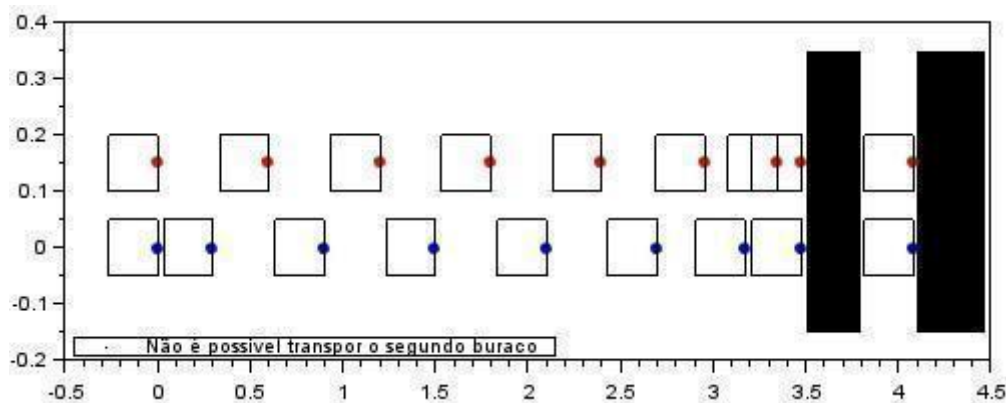


Figura 10. Transposição do buraco para o Caso 4c.

#### 4. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou o SAL capaz de realizar o planejamento de passadas para um exoesqueleto robótico de membros inferiores denominado Ortholeg 2.0, considerando apenas o planejamento para situações onde são encontrados obstáculos do tipo buraco.

Este Sistema de Auxílio à Locomoção é capaz de planejar as passadas e ajustá-las, na medida do possível, para transposição de alguns tipos de obstáculos, como buracos, sendo fundamental pelo fato de permitir que o usuário caminhe por trajetos dotados desse tipo de obstáculo. Além disso, o *footstep print plans* informa de imediato a possibilidade ou não de realizar a tarefa antes dela ser executada pelo exoesqueleto.

Soluções como esta podem auxiliar usuários que venham a utilizar exoesqueletos robóticos no futuro, auxiliando-os no processo de transposição de obstáculos com mais segurança sem deixar de lado a naturalidade dos movimentos de caminhada.

## 5. REFERÊNCIAS

- Araujo, M.V., Alsina, P.J., Melo, N.B., Roza, V.C.C., 2015. "Powered Orthosis Ortholeg: Design and Development". *Latin America Transactions. IEEE (Revista IEEE América Latina)*, Vol. 13, no. 1, pp. 90-95. doi: 10.1109/TLA.2015.7040633.
- Araujo, M.V., 2015. "Geração de marcha adaptável para uma órtese ativa de membros inferiores". 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação), - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- Calabrez, L.A.F., Oliveira, T.G.D., 2018. "Biomecânica: desenvolvimento de um exoesqueleto robótico visando auxiliar membros superiores". pp. 109–114. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2018.
- Jiménez, F.M.R., 2021. "Implementação da metodologia de design thinking no desenvolvimento de uma prótese robótica de membro superior". 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021
- Gloger, M., Alsina, P.J., Melo, N.C., 2015. "Ortholeg 2.0 – A New Design for a Lower Limb Active Orthosis". *Simpósio Internacional Micro-NanoMecatrônica e Ciência Humana (MHS)*, no Japão, pp. 109–114.
- Madruça, D.S.C., Camara, R.P.S., Oliveira, H.H.N., Matamoros, E.P., 2020. "Exoesqueleto Robótico: Um estudo sobre potencial inovador das tecnologias assistivas". VI Encontro Nacional de Propriedade Intelectual, Vol. 5, No. 1, pp. 1565–1573.
- Mingori, F.R., Steffen, P., 2021. "Modelagem De Robô Antropomórfico". In *Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão*. pp. e28835-e28835.
- PND 2019: País tem 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência. Agência IBGE notícias, 2021. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia>>. Acesso em: 04 mar. de 2022.

## 6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

# PATH PLANNER WITH HOLES TRANSPOSITION SYSTEM FOR THE ROBOTIC EXOSKELETON ORTHOLEG 2.0

José Lindenberg de Andrade, [lindenberg.andrade.103@ufrn.edu.br](mailto:lindenberg.andrade.103@ufrn.edu.br)<sup>1</sup>

Márcio Valério de Araújo, [marcio.araujo@ufrn.br](mailto:marcio.araujo@ufrn.br)<sup>1</sup>

Pablo Javier Alsina, [pablo@dca.ufrn.br](mailto:pablo@dca.ufrn.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal University of Rio Grande do Norte

**Abstract:** Contemporarily, there is a growing demand for robotic exoskeletons for lower limbs to help people with locomotion difficulties. This type of robotic device must be as intelligent as possible, capable of adapting to the most diverse types of environments and paths, ensuring a more autonomous and safer walk, also taking into account the issue of comfort for the user. Based on this assumption, the main purpose of this work is to present an algorithm for step planning with the ability to calculate the possibility of the user, with the robotic exoskeleton Ortholeg 2.0, to autonomously overcome possible potholes, by modifying the step size of the exoskeleton, during the execution of a walk along a given path. This algorithm receives information about the path, such as, for example, the existence or not of holes, their dimensions such as width and length, and the distance from the user to the hole. Based on this, all the steps are planned in case it is possible for the exoskeleton to move along this specific path. Besides this, the algorithm is able to identify if there are one or more nearby holes, and with this, if there is the possibility of crossing them all at once, or if it is possible to cross one at a time, or even if there is no possibility of crossing them at all. The algorithm also uses a set of anthropometric data, such as the maximum size of the step or the desired stride, the user's height, and the maximum dimensions of the holes that can be crossed, in order to generate a customizable gait pattern for each user of the Ortholeg 2.0 robotic exoskeleton. After processing the path information, the robotic exoskeleton user is informed of the footstep print plans, which is a walking plan along the path, showing how the exoskeleton will move through the environment. The algorithm also has an angle reference generator for the active joints of the exoskeleton, so that the onboard controller can execute the planned movements according to the footstep print plans.

**Keywords:** Robotic Exoskeleton, Transposition of holes, Path Planner