

# MobiChair

---

# OBJETIVO

---

Projetar um dispositivo para pessoas com deficiência de natureza física ou mobilidade reduzida, que através de um sistema de redução de vibrações, promova maior conforto e segurança em sua locomoção.

# MOTIVAÇÃO



Fonte: Jornal G1



Fonte: Estadão



Fonte: Jornal G1



Fonte: iStock

# HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DA CADEIRA

Século IV AC



Deus Grego Hefesto

1933



Everest & Jennings

2019



OGO

Fonte: Tecmundo

Fonte: Centro de Referência Faster, 2019

# CADEIRAS MANUAIS

---

## ☐ CADEIRA DOBRÁVEL EM X:



### Vantagens:

- Compacta

### Desvantagens:

- Mais pesada
- Menor estabilidade
- Menor resistência à torção

## ☐ CADEIRA MONOBLOBO:



### Vantagens:

- Mais leve
- Maior estabilidade
- Maior resistência mecânica

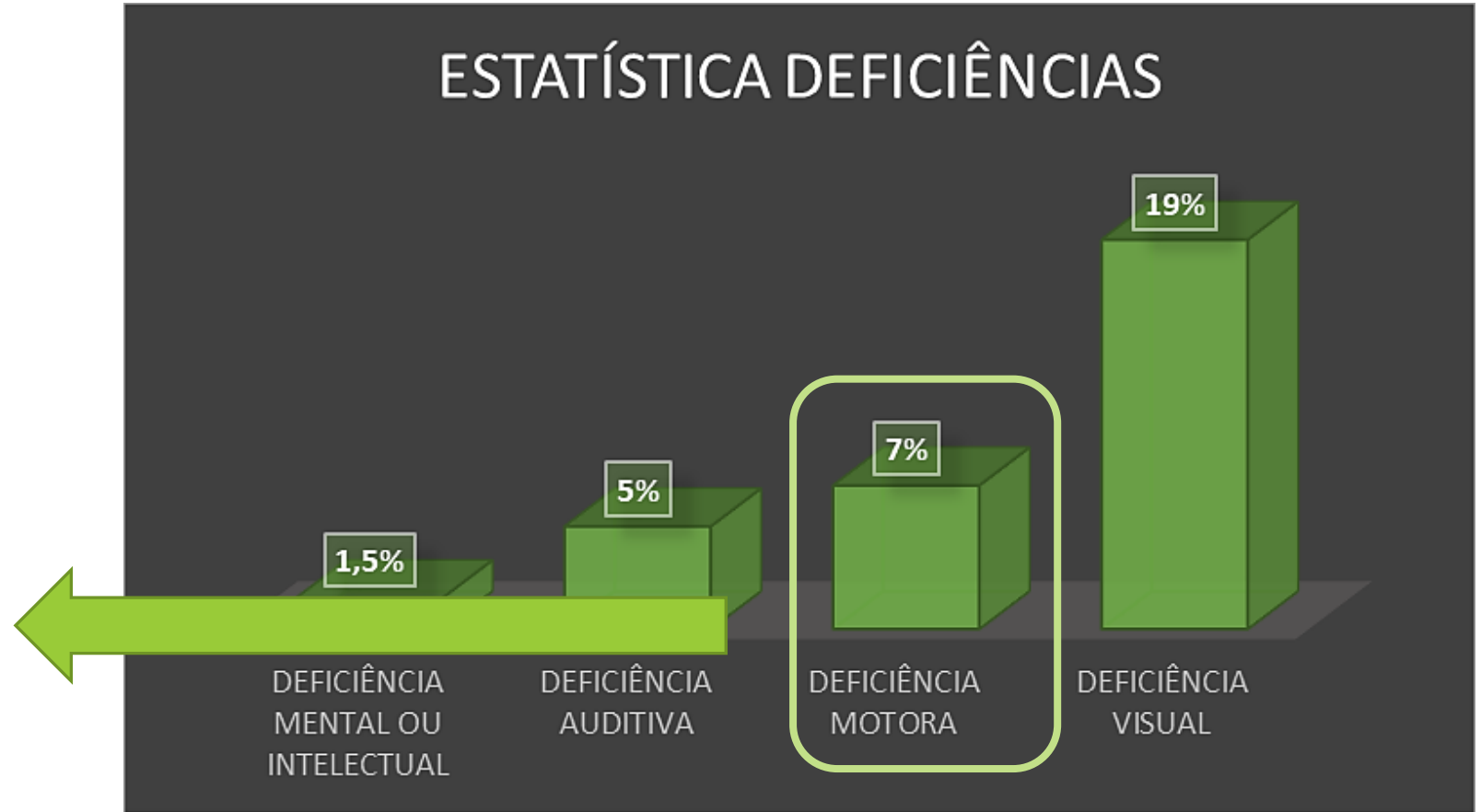
### Desvantagens:

- Menos compacta

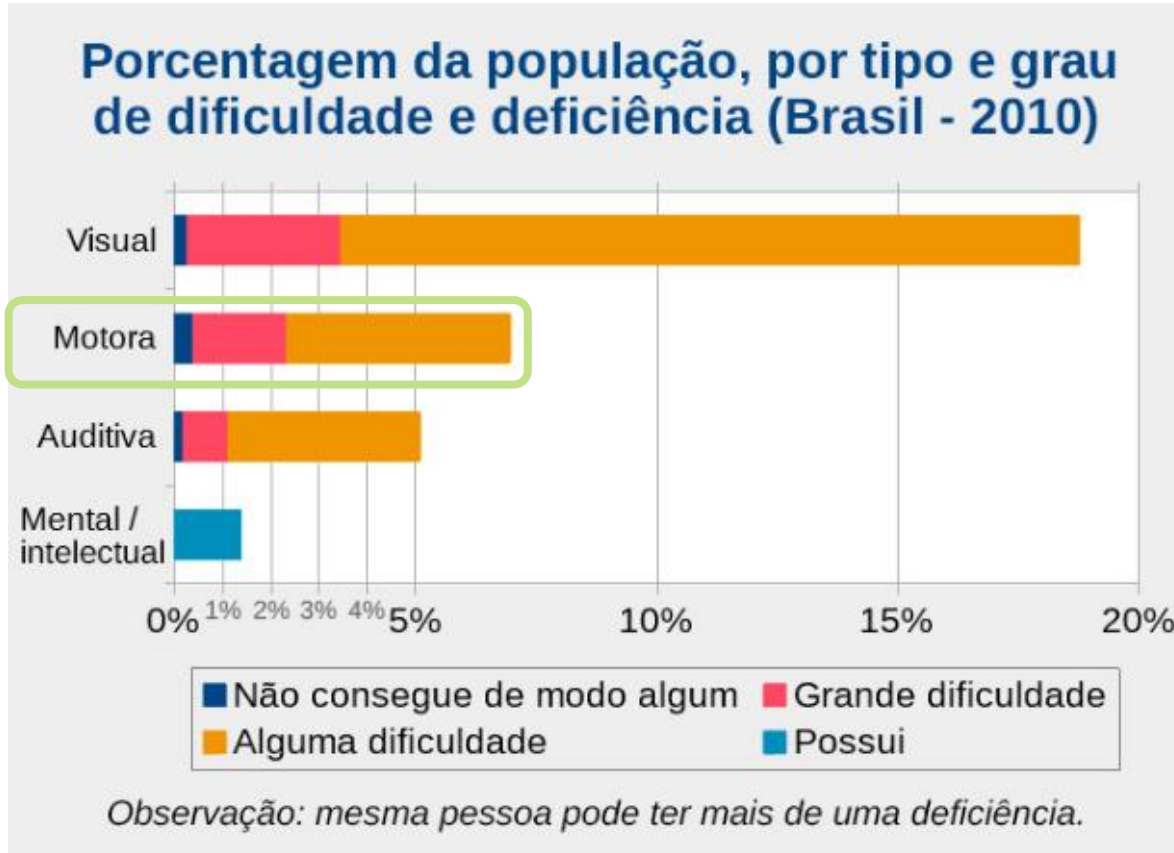
# PÚBLICO ALVO

**45,6 milhões**  
de pessoas possuem  
algum tipo de  
deficiência

**14 milhões de**  
pessoas



# PÚBLICO ALVO



**14 milhões**  
de pessoas  
possuem  
algum tipo de  
deficiência  
motora



**Cerca de 5,5**  
**milhões de**  
**pessoas**

Fonte: IBGE, 2010

# PÚBLICO ALVO

---

- Esclerose múltipla
- Distrofia muscular
- Osteoporose
- Paraplegia
- Pós-pólio
- Lesão Medular (LM)
- Acidente vascular cerebral
- Tetraplegia
- Lesão Cerebral Traumática (TCE)
- Amputados
- Artrite
- Paralisia cerebral
- Acidentes cerebrovasculares
- Insuficiência Cardíaca Congestiva
- Diabetes
- Fraturas do fêmur, quadril, pelve e / ou extremidades inferiores bilaterais (durante convalescença e reabilitação)



# PROBLEMÁTICA - VIBRAÇÃO

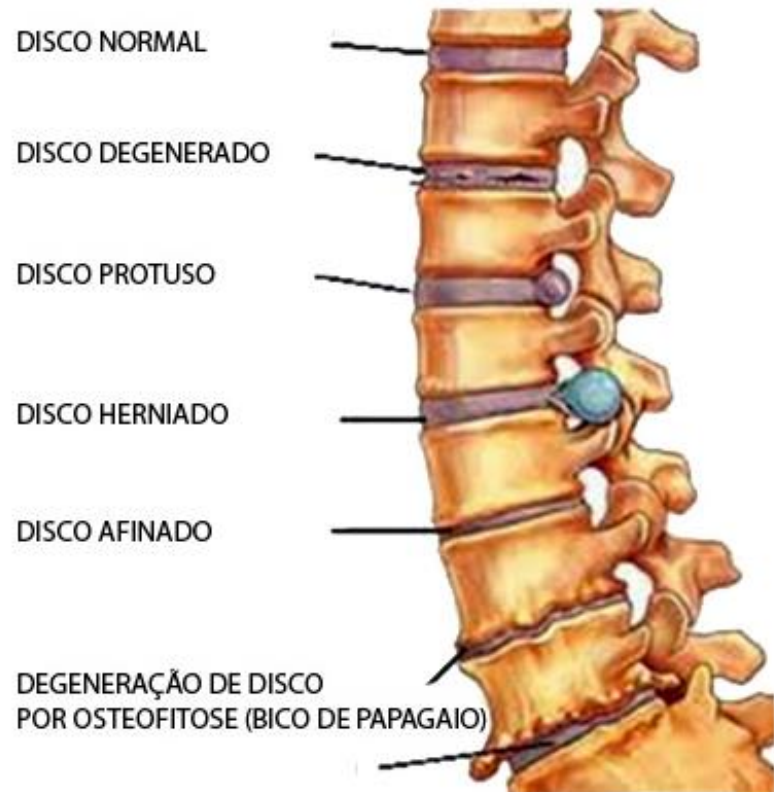
Enquanto atravessam obstáculos e superfícies irregulares os usuários de cadeira de rodas são submetidos a vibrações nocivas do corpo inteiro (VCI).

Tais vibrações podem gerar graves dores lombares, espasmos, espasticidade e úlceras por pressão.

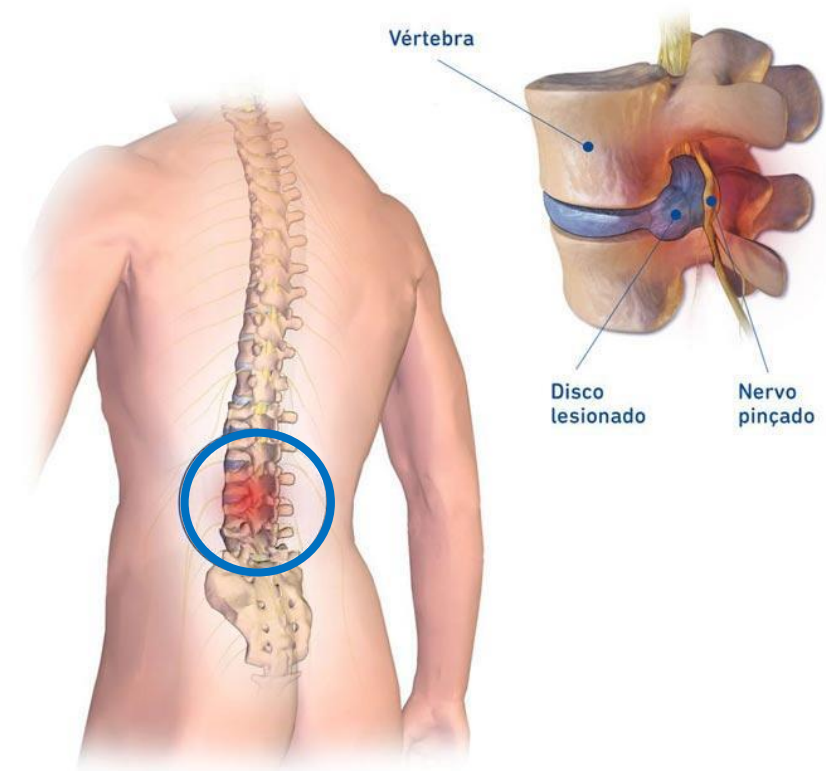


Fonte: Ortopedia BR

# PROBLEMÁTICA - VIBRAÇÃO



Fonte: Ortopedia BR



Fonte: Bauerfeind

# REDUÇÃO DE VIBRAÇÕES

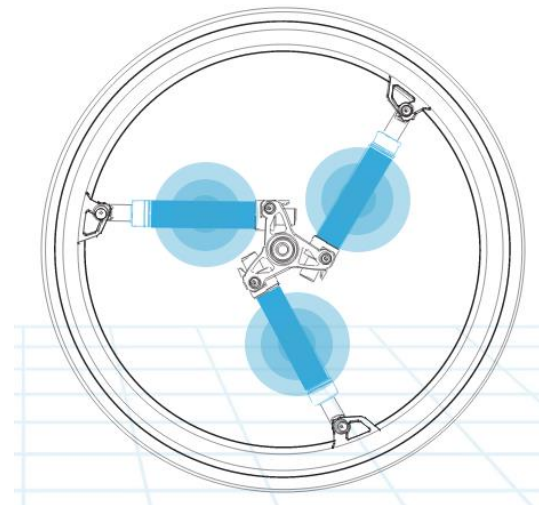
## NO ARO DA RODA

### Vantagens

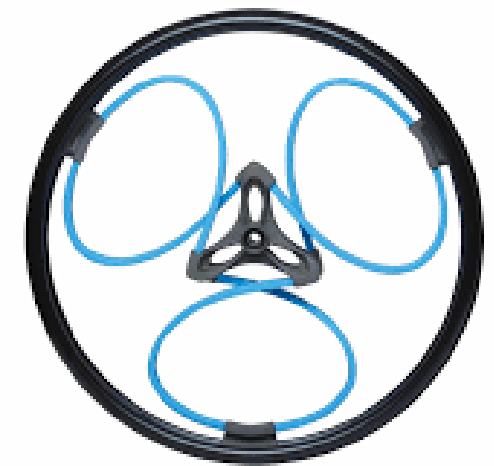
- Baixo peso
- Possibilidade de ser usado em cadeira do tipo Monobloco e do tipo em X

### Desvantagens

- Custo Elevado
- Maior esforço para mover a roda



Fonte: SoftWheel



Fonte: Loopwheels

# REDUÇÃO DE VIBRAÇÕES

## CENTRAL NO MONOBLOCO

### Vantagens

- Menor Peso
- Mais estabilidade

### Desvantagens

- Custo de Manutenção elevado
- Não é possível usar em cadeiras do tipo dobrável em X



Fonte: Icon Wheelchair

# REDUÇÃO DE VIBRAÇÕES

## NAS EXTREMIDADES DA ESTRUTURA

### Vantagens

- ❑ Mais estabilidade
- ❑ Pode de ser utilizado em cadeira do tipo Monobloco e do tipo dobrável em X

### Desvantagens

- ❑ Custo de Manutenção elevado



Fonte: CareCo Enduro

# REDUÇÃO DE VIBRAÇÕES

## NO ASSENTO

### Vantagens

- Baixo custo de manutenção
- Baixo peso

### Desvantagens

- Não é possível usar em cadeiras do tipo dobrável em X
- Design menos convencional



Fonte: Trekinetic

# MATRIZ DE DECISÃO - SUSPENÇÃO

	MATRIZ DE DECISÃO	PONTUAÇÃO DE 1 A 5
--	-------------------	--------------------

Aplicação do Método - Notas para os Critérios X Notas para os Dispositivos

INTEGRANTE	CRITÉRIOS	RODA	QUADRO CENTRAL	QUADRO EXTREMIDADES	ASSENTO	PRIORIDADE RELATIVA
GRUPO	CUSTO	3	1	3	3	0,05
	SEGURANÇA	1	2	5	1	0,57
	CONFORTO	5	1	3	1	0,29
	MANUTENÇÃO	2	4	2	2	0,09
	<b>TOTAL</b>	<b>2,35</b>	<b>1,84</b>	<b>4,05</b>	<b>1,19</b>	<b>1,00</b>

DISPOSITIVO	<b>QUADRO EXTREMIDADES</b>
PORCETAGEM	<b>4,05</b>



# MODELOS ESTUDADOS

---

MOLA + AMORTECEDOR



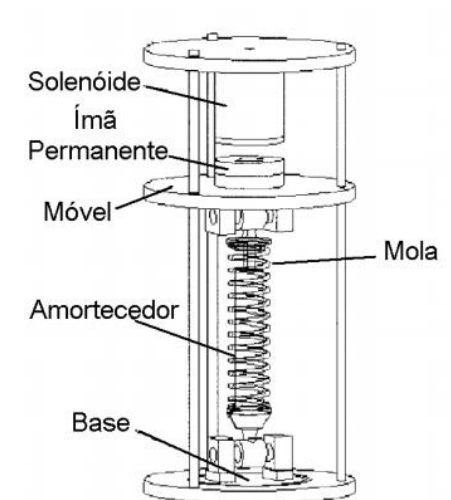
Fonte: [www.kfbikes.com.br](http://www.kfbikes.com.br)

COXIM



Fonte: [www.vibra-stop.com.br](http://www.vibra-stop.com.br)

MAGNÉTICO



Fonte: (KIM et al., 2001)



# MATRIZ DE DECISÃO

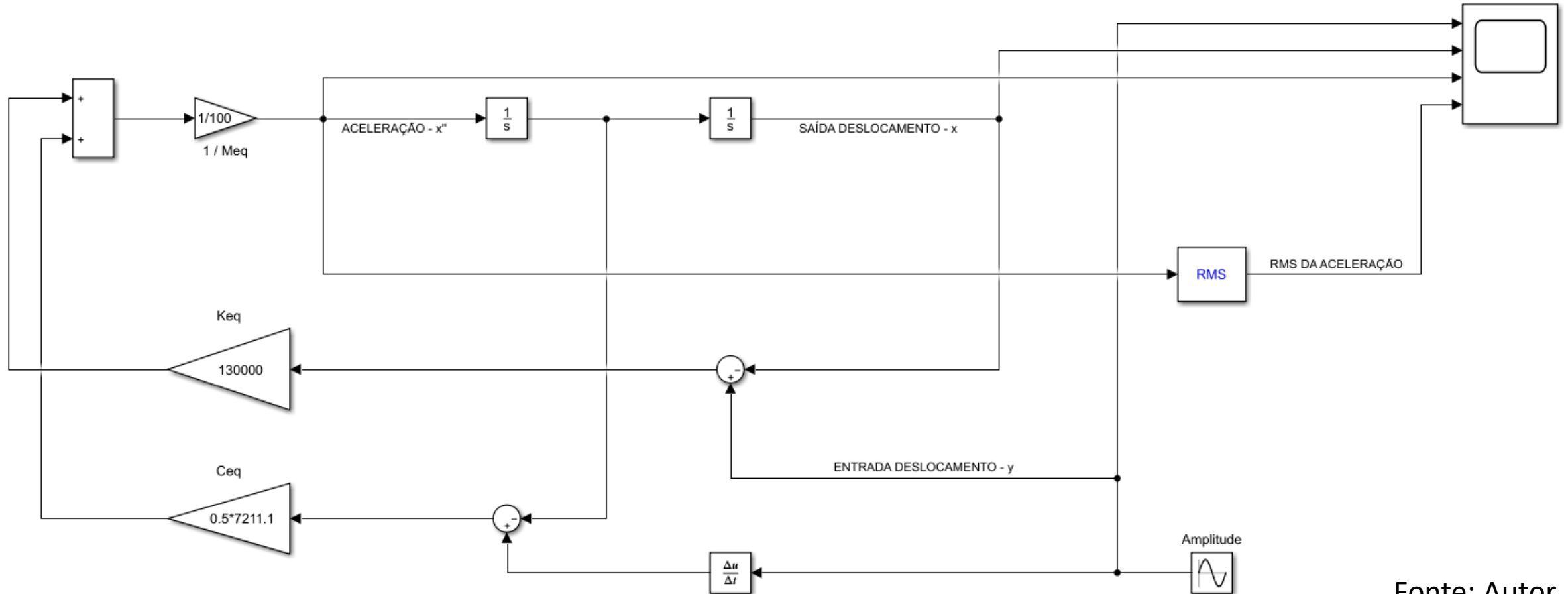
MATRIZ DE DECISÃO	PONTUAÇÃO DE 1 A 9
-------------------	--------------------

**Aplicação do Método - Notas para os Critérios X Notas para os Dispositivos**

MODELOS → CRITÉRIOS ↓	MOLA + AMORTECEDOR	COXIM	MAGNÉTICO	PRIORIDADE RELATIVA
Custo	6	9	3	<b>0,20</b>
Facilidade de Manutenção / Disponibilidade	8	6	3	<b>0,17</b>
Menor massa possível	6	9	5	<b>0,17</b>
Estilo / Design	9	5	5	<b>0,11</b>
Segurança	9	6	9	<b>0,25</b>
Reciclagem	5	5	3	<b>0,10</b>
<b>TOTAL</b>	<b>7,32</b>	<b>6,9</b>	<b>5,06</b>	<b>1,00</b>



# MODELO MATEMÁTICO – 1 GDL

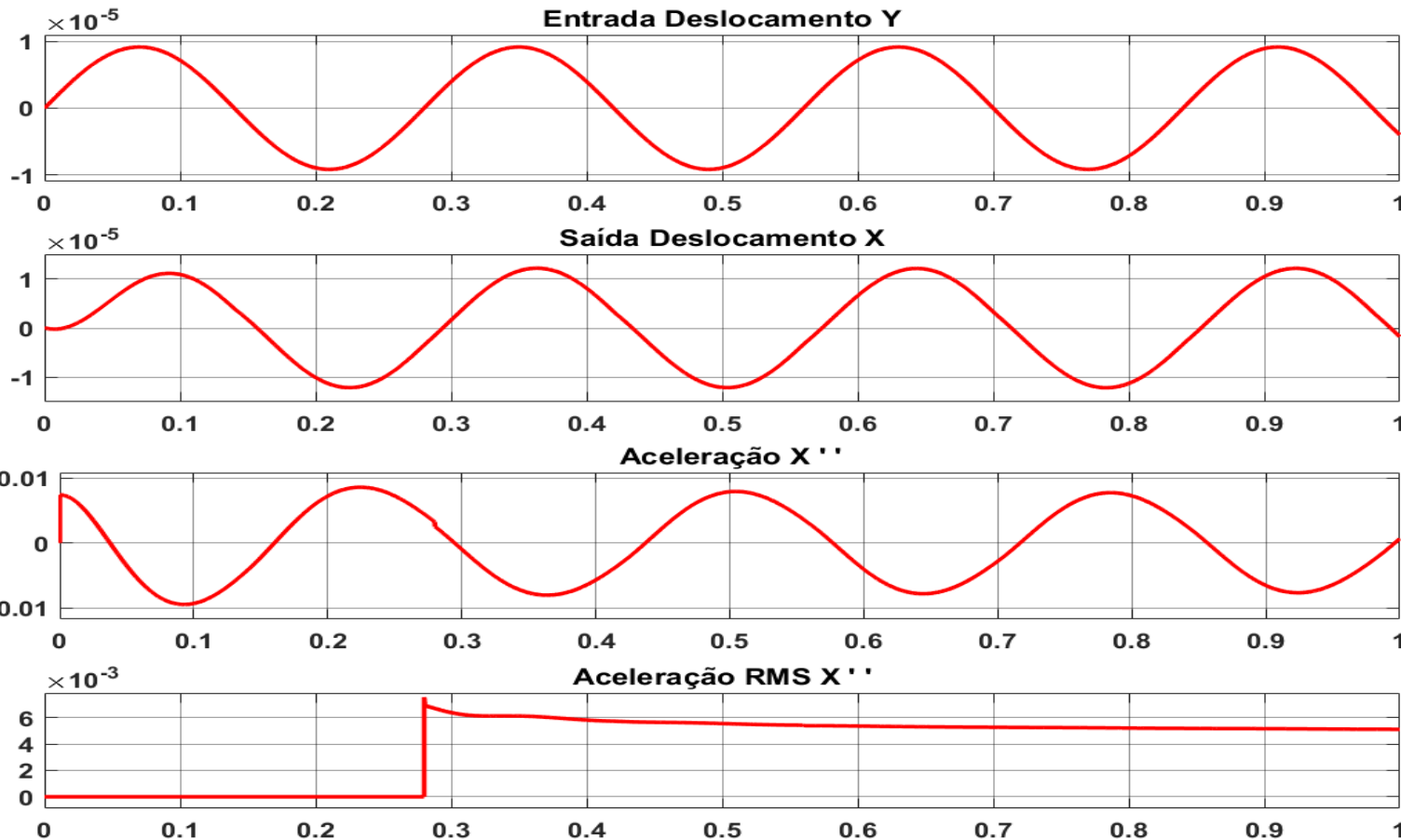


Fonte: Autor

# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO

<b>Parâmetros de Entrada</b>	
Massa Equivalente (Pessoa+Cadeira) (kg)	100,00
Constante Elástica Equivalente da Mola (N/m)	130.000,00
Frequência Natural (rad/s)	36,06
C crítico (Ns/m)	7.211,10
Fator de Amortecimento	0,50
Constante de Amortecimento Equivalente (Ns/m)	3.605,55
Comprimento de Onda (m)	0,14

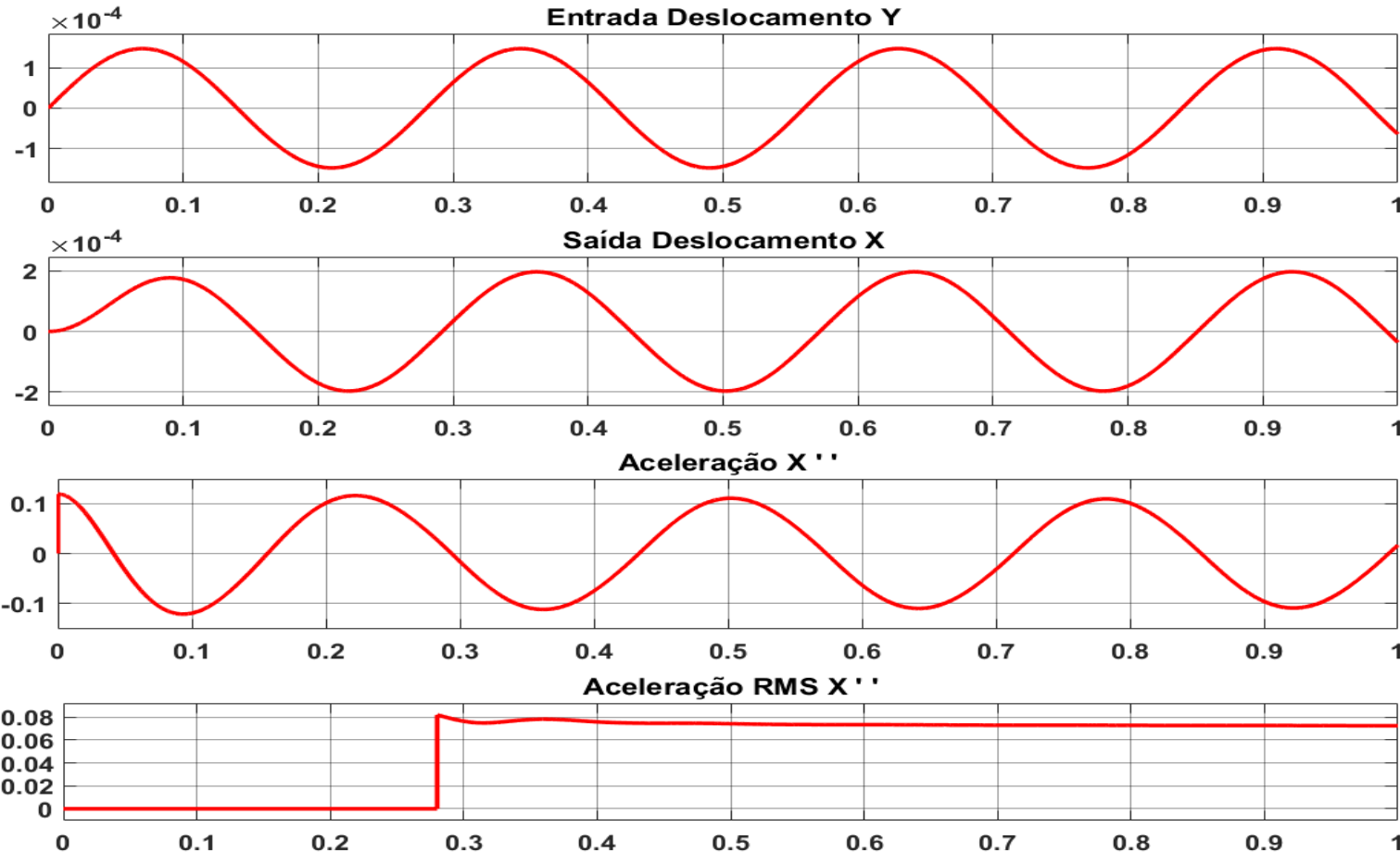
# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO



PERFIL "A"	
Amplitude (m)	0,000009185
Velocidade (m/s)	0,50
Frequência Angular (rad/s)	22,44
Frequência (Hz)	3,57
Período (s)	0,28
RMS (m/s <sup>2</sup> )	0,0069
Reações devido a vibração - ISO 2631-1	Confortável

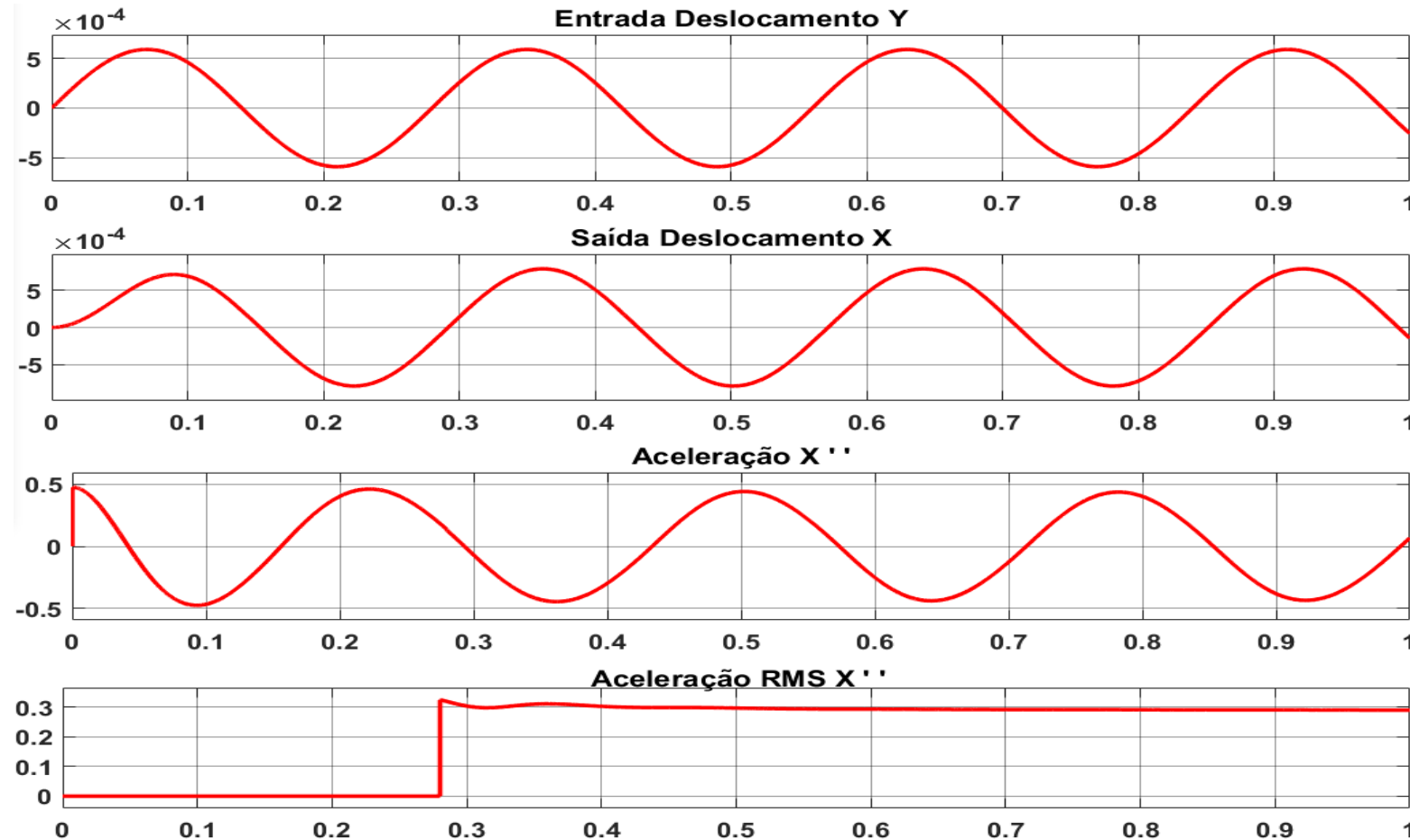
Fonte: Autor

# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO



PERFIL "E"	
Amplitude (m)	0,000146964
Velocidade (m/s)	0,50
Frequência Angular (rad/s)	22,44
Frequência (Hz)	3,57
Período (s)	0,28
RMS (m/s <sup>2</sup> )	0,0818
Reações devido a vibração - ISO 2631-1	Confortável

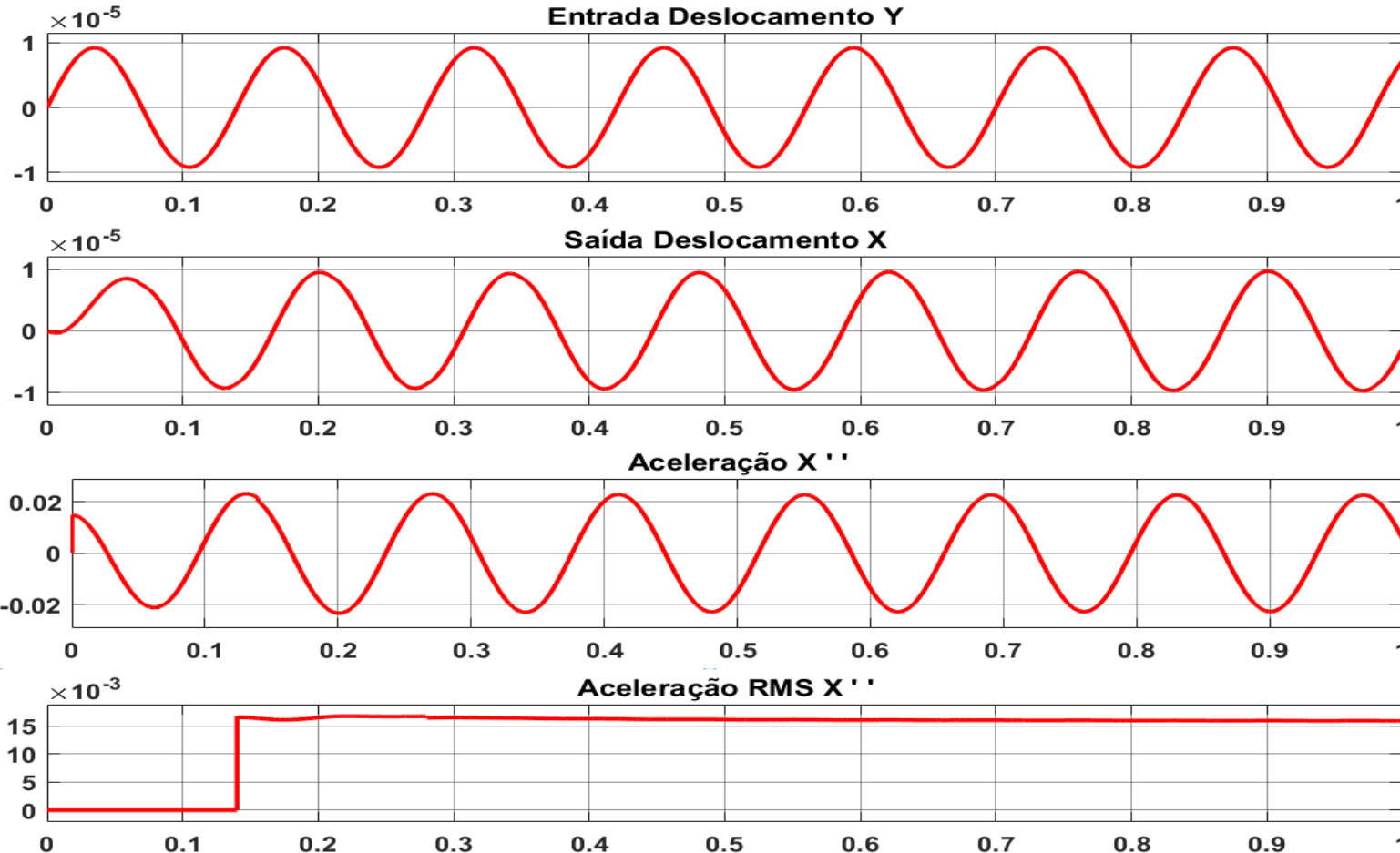
# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO



PERFIL "G"	
Amplitude (m)	0,000587857
Velocidade (m/s)	0,50
Frequência Angular (rad/s)	22,44
Frequência (Hz)	3,57
Período (s)	0,28
RMS ( $m/s^2$ )	0,3240
Reações devido a vibração - ISO 2631-1	Pouco Desconfortável

Fonte: Autor

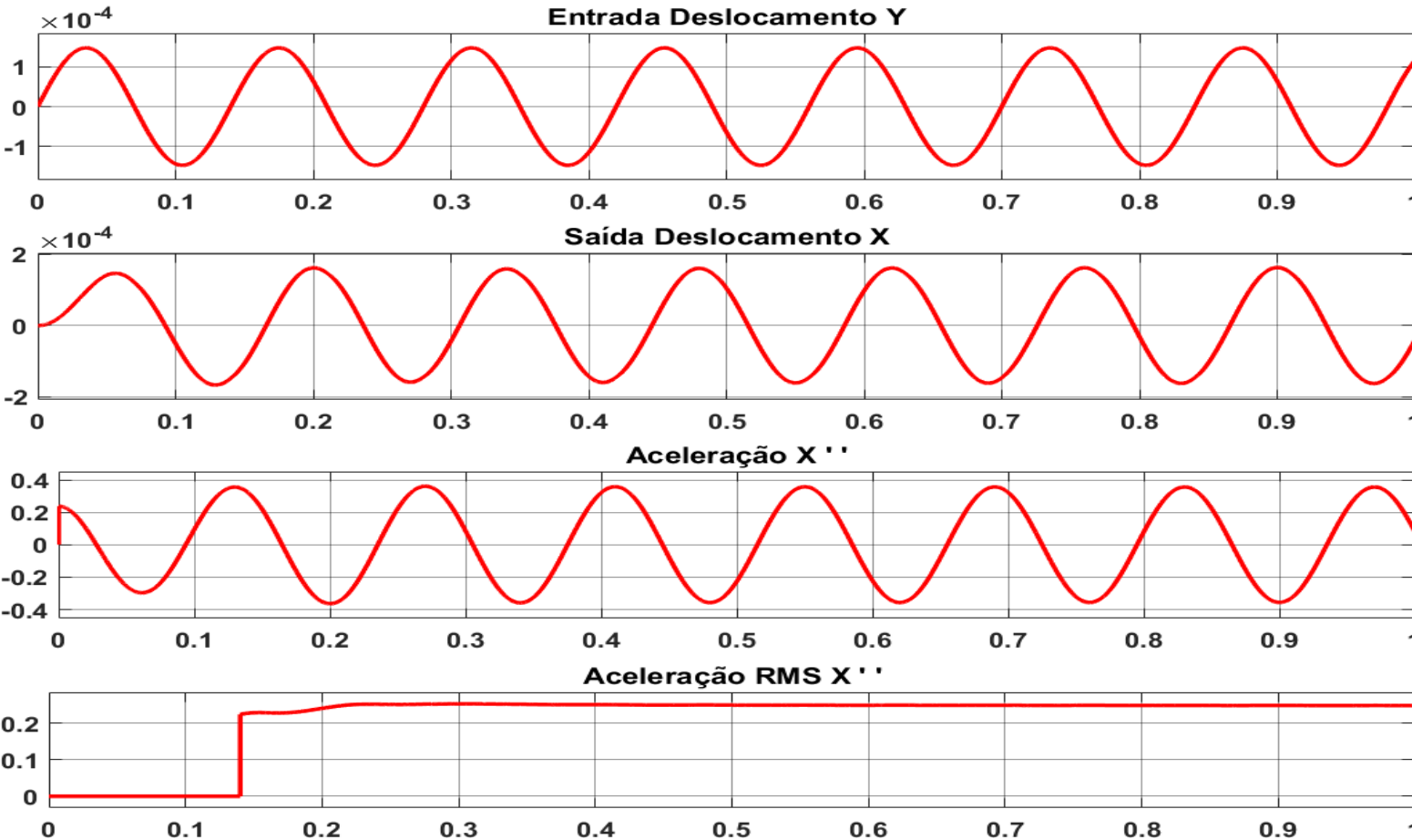
# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO



PERFIL "A"	
Amplitude (m)	0,000009185
Velocidade (m/s)	1,00
Frequência Angular (rad/s)	44,88
Frequência (Hz)	7,14
Período (s)	0,14
RMS (m/s <sup>2</sup> )	0,0166
Reações devido a vibração - ISO 2631-1	Confortável

Fonte: Autor

# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO

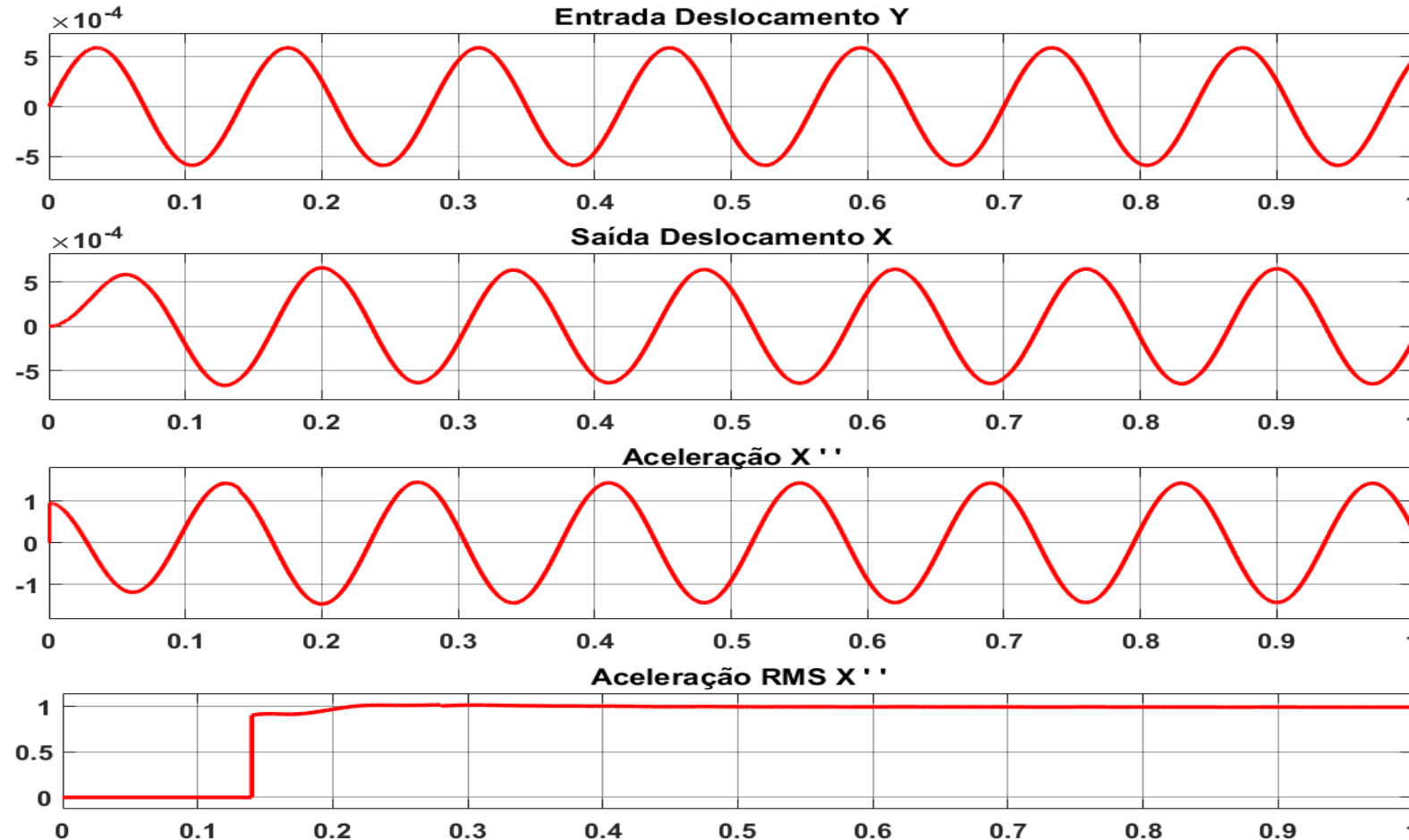


PERFIL "E"	
Amplitude (m)	0,000146964
Velocidade (m/s)	1,00
Frequência Angular (rad/s)	44,88
Frequência (Hz)	7,14
Período (s)	0,14
RMS (m/s <sup>2</sup> )	0,2544
Reações devido a vibração - ISO 2631-1	Confortável

Fonte: Autor

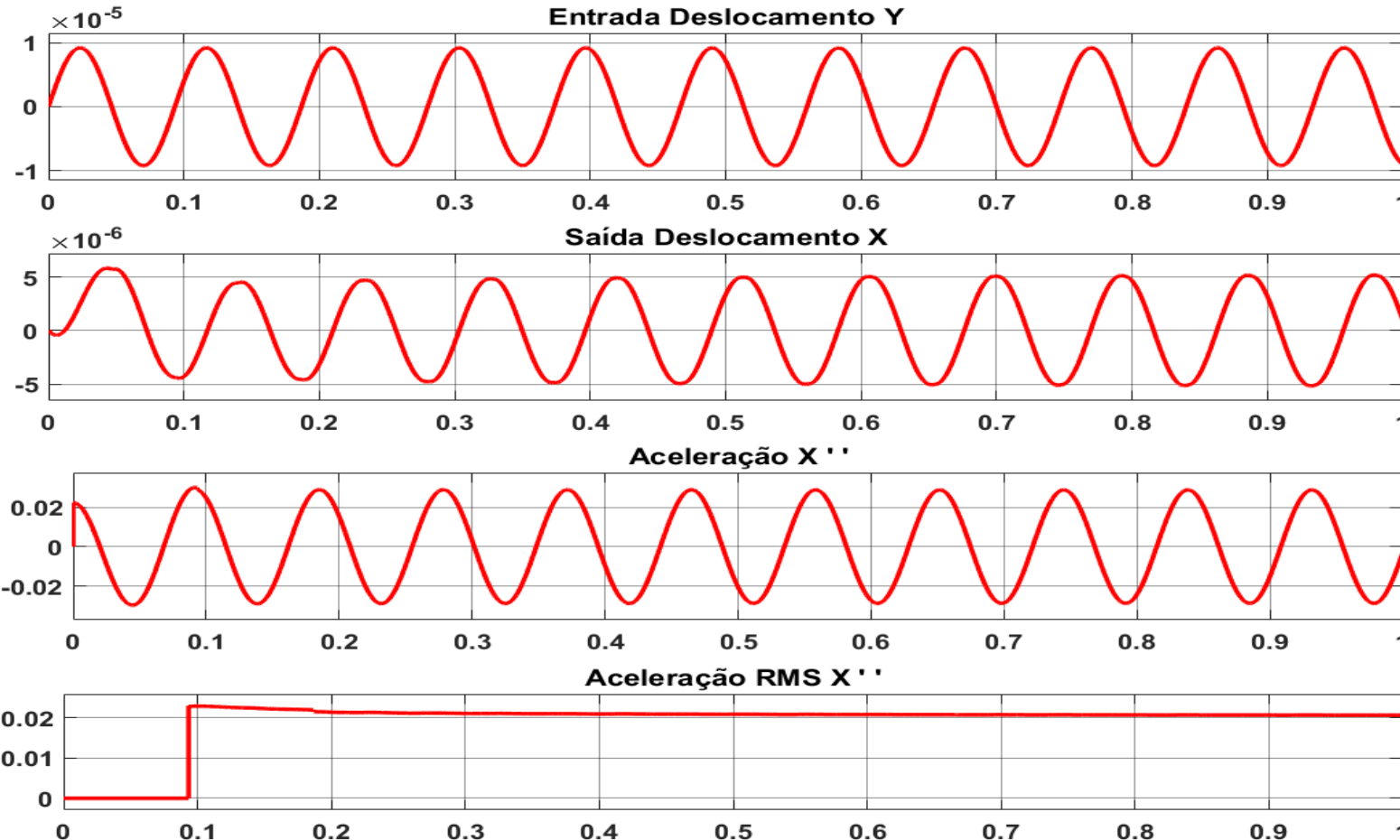


# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO



PERFIL "G"	
Amplitude (m)	0,000587857
Velocidade (m/s)	1,00
Frequência Angular (rad/s)	44,88
Frequência (Hz)	7,14
Período (s)	0,14
RMS (m/s <sup>2</sup> )	1,0160
Reações devido a vibração - ISO 2631-1	Desconfortável

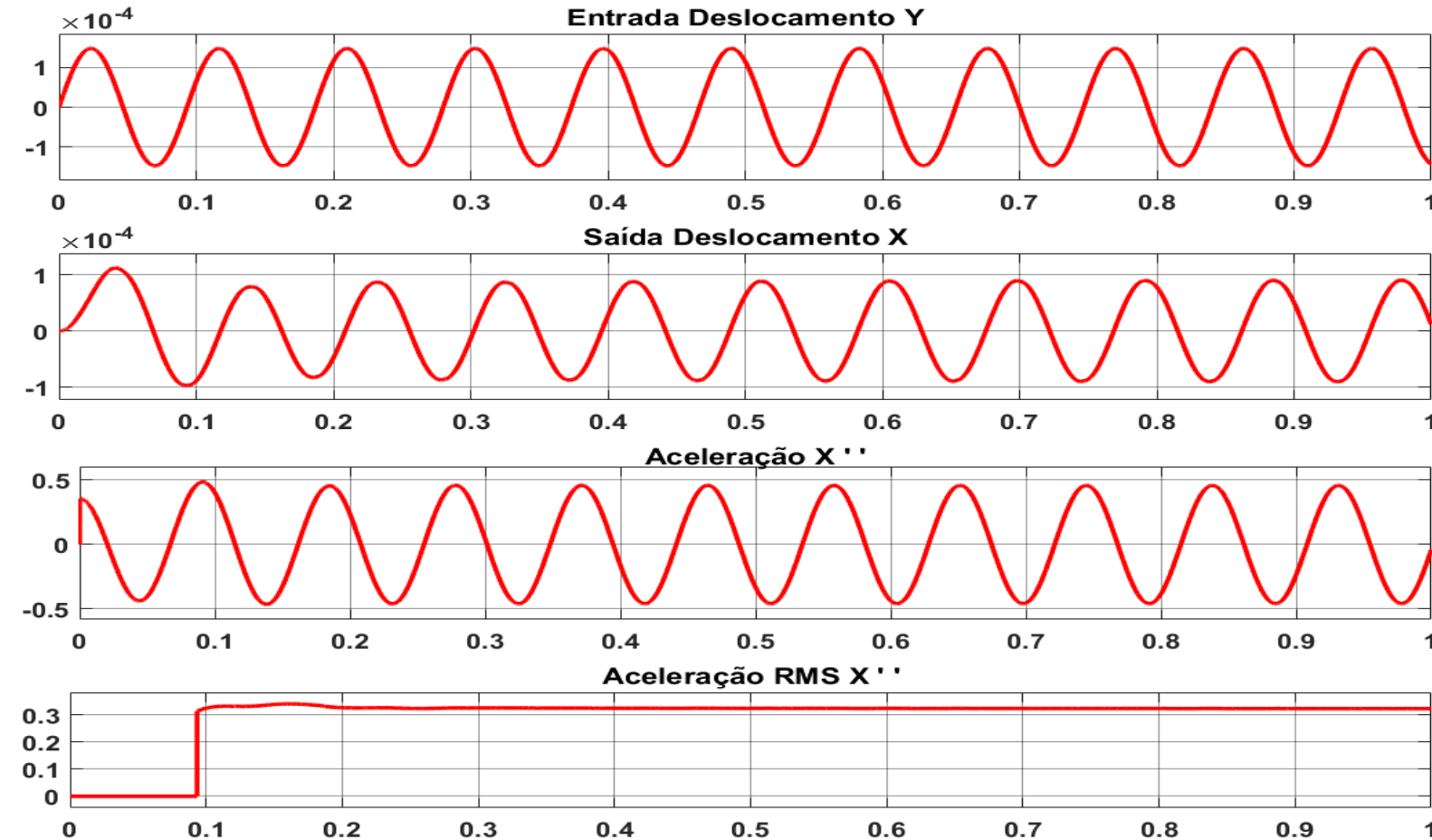
# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO



PERFIL "A"	
Amplitude (m)	0,000009185
Velocidade (m/s)	1,50
Frequência Angular (rad/s)	67,32
Frequência (Hz)	10,71
Período (s)	0,09
RMS (m/s <sup>2</sup> )	0,0231
Reações devido a vibração - ISO 2631-1	Confortável

Fonte: Autor

# RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO

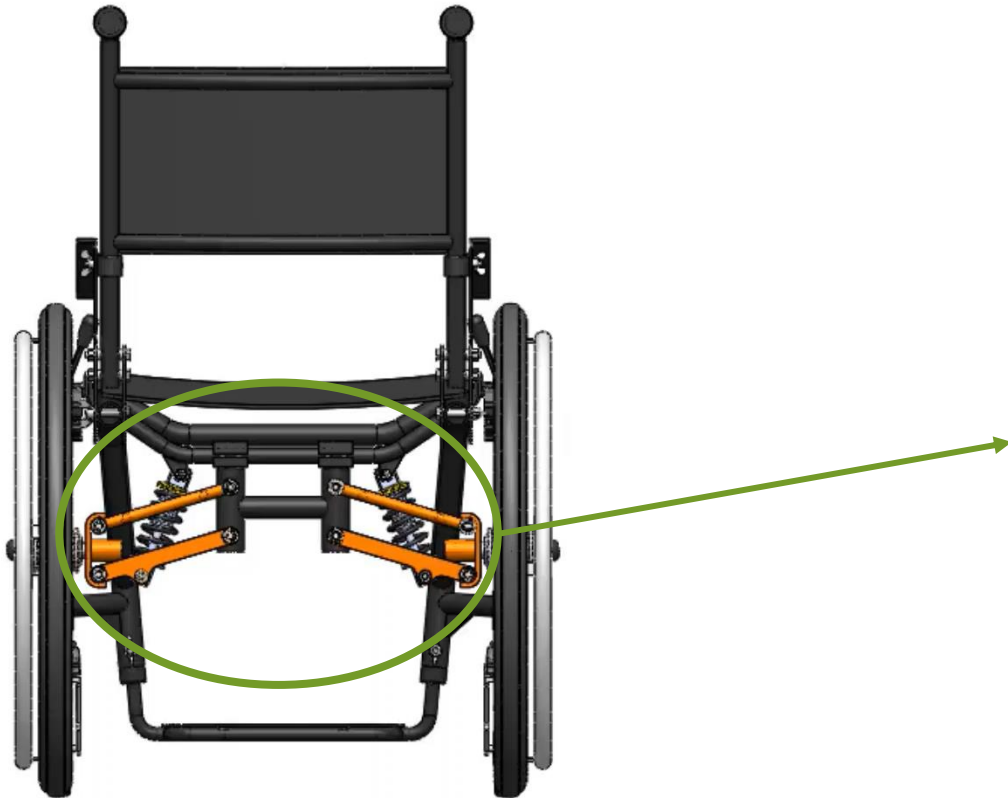


PERFIL "E"	
Amplitude (m)	0,000146964
Velocidade (m/s)	1,50
Frequência Angular (rad/s)	67,32
Frequência (Hz)	10,71
Período (s)	0,09
RMS (m/s <sup>2</sup> )	0,3400
Reações devido a vibração - ISO 2631-1	Pouco Desconfortável

Fonte: Autor

# SOLUÇÃO PROPOSTA

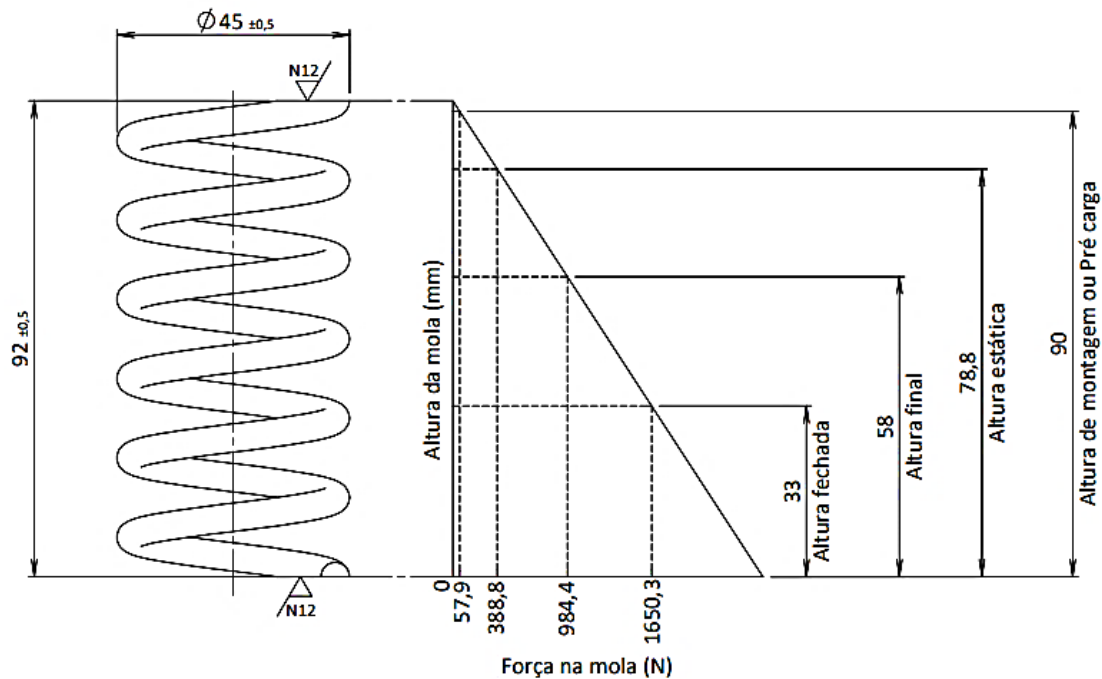
---



Sistema Duplo A

# SOLUÇÃO PROPOSTA

- Dimensionamento da mola



Material utilizado: SAE9254 – ATM A401

Parâmetros da Mola	
Características	Dimensões
Ø Fio da mola	5,50 mm
Ø Externo da mola	45,0 mm
Ø Médio da mola	39,5 mm
Ø Interno da mola	34,0 mm
Total de espiras	6
Espiras ativas	5
Altura livre da mola	92,0 mm
Altura estática	90,0 mm
Curso de trabalho	32,0 mm
Altura final	58,0 mm
Altura fechada	33,0 mm
Rigidez da mola	29,53 kN/m

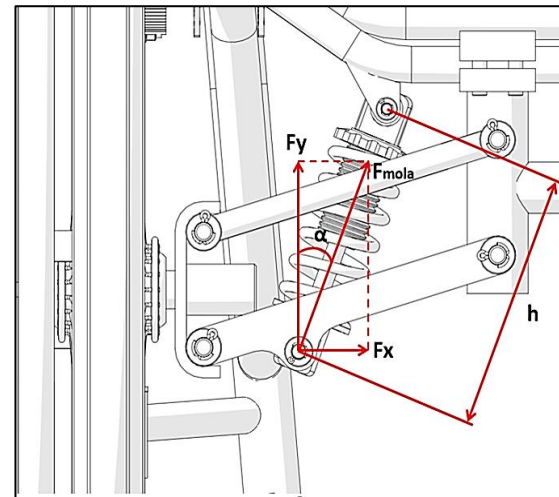
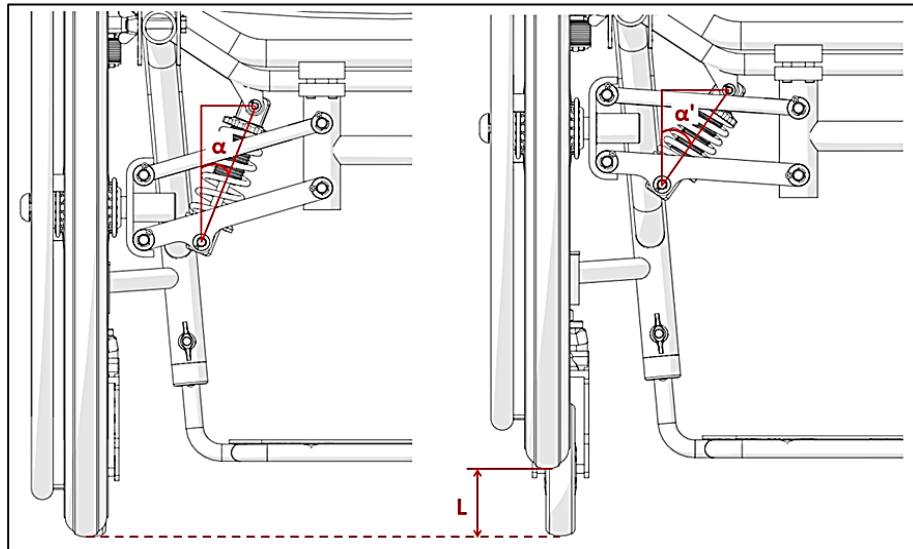
$$G_{SAE\_9254} = 78 \text{ GPa}$$

(Módulo de elasticidade transversal do aço)

$$K_{mola} = \frac{d_{fio}^4 * G_{SAE\_9254}}{8 * D^3 * N_{ativas}} = \frac{5,5^4 * 78}{8 * 39,5^3 * 5} = 28,95 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

# SOLUÇÃO PROPOSTA

- Dimensionamento da mola



Lei de Hooke:

$$F_{mola} = K_{mola} \cdot x$$

$$F_{mola\ 21^\circ} = 28,95.2$$

$$F_{mola\ 21^\circ} = 57,90\text{ N}$$

$$F_{mola\ 35^\circ} = 28,95.34$$

$$F_{mola\ 35^\circ} = 984,3\text{ N}$$

$\alpha = 21^\circ$  – Angulo de inclinação inicial do conjunto

$\alpha' = 35^\circ$  – Angulo de inclinação final do conjunto

$L = 60\text{ mm}$  – Altura máxima atingida da roda

Parâmetros de Montagem da Mola (@MBA\_007)

Ângulo $\alpha$ ( $^\circ$ )	h (mm)	Altura Mola (mm)	Deslocamento (mm)	Fel (N)	Fel X (N)	Fel Y (N)
21	135,00	90,0	2	57,9	20,75	54,05
35	103,00	58,0	34,0	984,3	564,57	806,29

# SOLUÇÃO PROPOSTA

- Dimensionamento da mola

## Cálculo da Fadiga

$$N_{10^3} \rightarrow \tau_{ms} = 0,6 * \sigma_{tração} = 0,6 * 1756,1 = 1053,66 \text{ MPa}$$

$$N_{10^5} \rightarrow \tau'_{fw} = 0,42 * \tau_{ms} = 442,54 \text{ MPa}$$

$$N_{10^6} \rightarrow \tau'_{fw} = 0,40 * \tau_{ms} = 421,46 \text{ MPa}$$

$$N_{10^7} \rightarrow \tau'_{fw} = 0,38 * \tau_{ms} = 400,39 \text{ MPa}$$

## Tensão Máxima

$$\tau_{máx} = K_W * \frac{8 * F_{mola} * D}{\pi * d_{fio}^3} = 1,21 * \frac{8 * 984,4 * 39,5}{\pi * 5,5^3} = 718,31 \text{ MPa}$$

$$K_W = 1,21 \text{ [adimensional]}$$

$$X_{máximo} = 34 \text{ mm}$$

$$F_{mola\_máx} = 984,4 \text{ N}$$

# SOLUÇÃO PROPOSTA

- Dimensionamento do amortecedor



$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_{eq}}{m_{eq}}} = \sqrt{\frac{13712,95}{40,44}} = 18,41 \text{ rad/s}$$

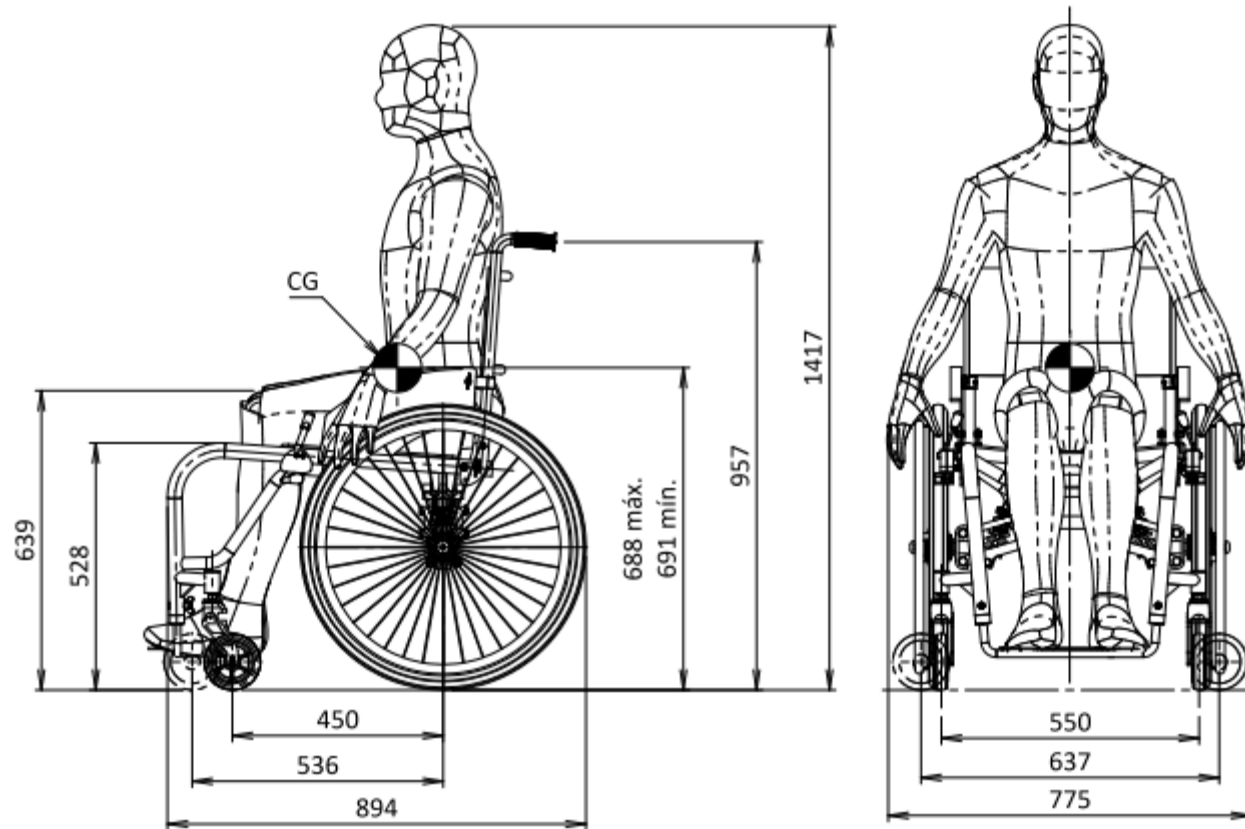
$$\zeta = \frac{c}{c_{crit}} = \frac{c}{2 \cdot m_{eq} \cdot \omega_n} \longrightarrow \zeta = 0,4 \quad \zeta < 1 \rightarrow \text{Movimento Sub-amortecido}$$

$$0,4 = \frac{c}{2 \cdot 40,44 \cdot 18,41}$$

$$c = 595,75 \frac{N \cdot s}{m}$$



# SOLUÇÃO PROPOSTA



Desenho atendendo à norma ABNT NBR 9050

Fonte: Autores

# SIMULAÇÃO ANSYS

- Análise da estrutura da Cadeira

Parâmetros iniciais da simulação:

$$F_{atuante} = M_{usuário} \times G = 85 \times 9,8 = 833 \text{ N}$$

$$C.S = \frac{F_{crítica}}{F_{atuante}} = 3 = \frac{F_{crítica}}{833 \text{ N}} \therefore F_{crítica} = 2499 \text{ N}$$

$$M_{considerada} = \frac{F_{crítica}}{G} = \frac{2499}{9,8} = 255 \text{ Kg}$$

Parâmetro	Valor	Unidade
Massa do usuário	85	kg
Massa da cadeira	19	kg
Massa considerada	255 (C.S=3)	kg
Carga Total	2499	N
Carga Frontal	549,78	N
Carga Traseira	1949,22	N
Material	Alumínio 6061	-
Tensão de Escoamento	276	MPa
Tensão Limite de Ruptura	310	MPa

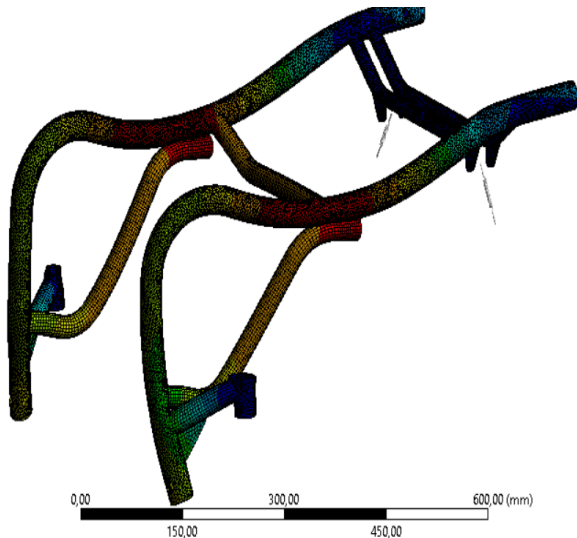
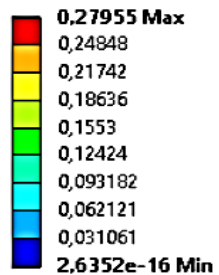
# SIMULAÇÃO ANSYS

- Análise da Suspensão Duplo A

## Deformação total da estrutura

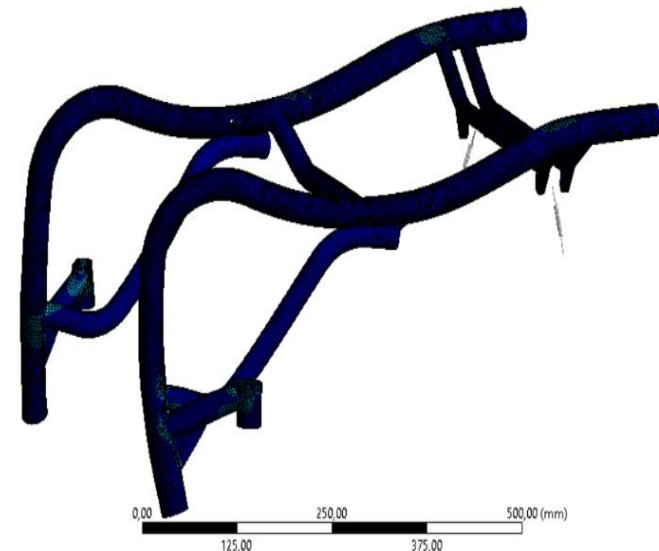
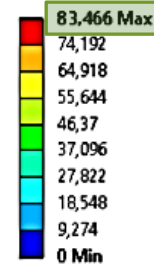
- Cálculo do C.S. total da estrutura

A: Static Structural  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
30/05/2020 20:00



## Tensão equivalente (Von-Mises)

A: Static Structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-M)  
Unit: MPa  
Time: 1  
30/05/2020 19:53



# SIMULAÇÃO ANSYS

- Análise da Suspensão Duplo A

- Cálculo do C.S. total da estrutura

$$C.S. = \frac{\sigma_{esc}}{\sigma_{atuante\_m\acute{a}x}} = \frac{276 \text{ MPa}}{83,47 \text{ MPa}}$$

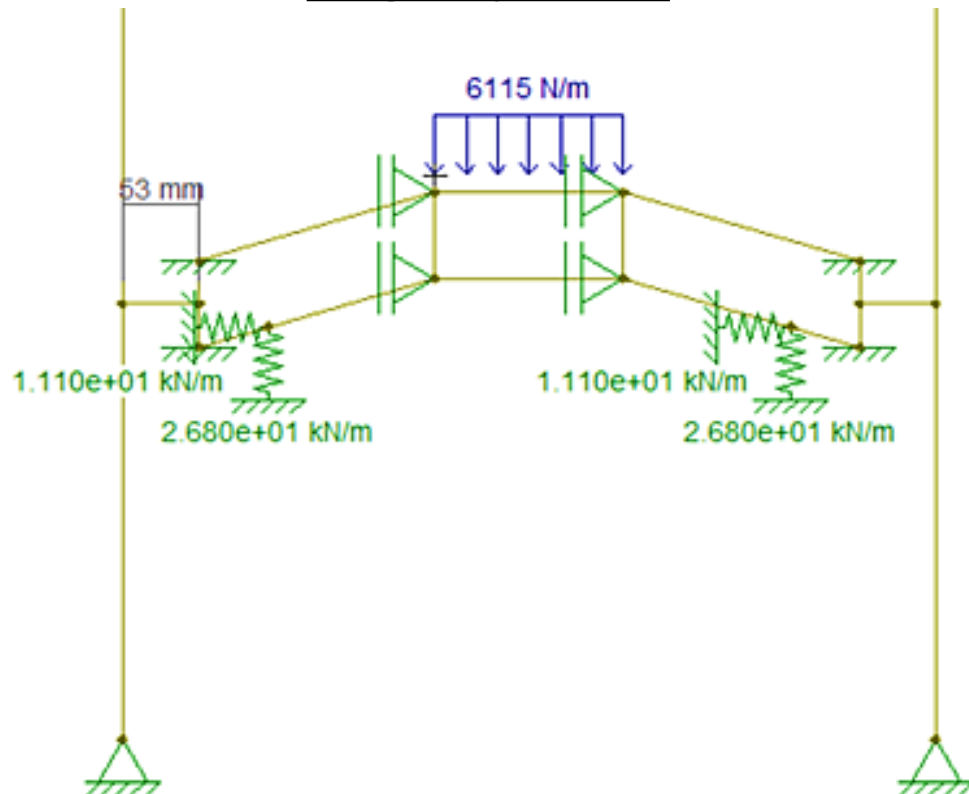
$$C.S. = 3,3$$



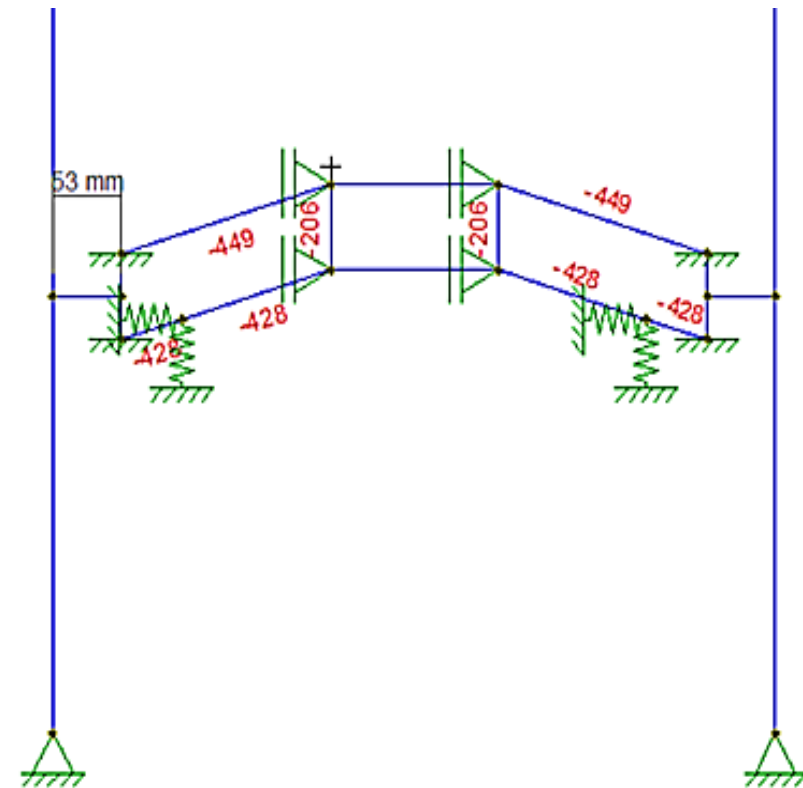
# SIMULAÇÃO ANSYS

- Análise da Suspensão Duplo A

Cargas aplicadas



Forças Axiais



# SIMULAÇÃO ANSYS

- Análise da Suspensão Duplo A

Parâmetros iniciais da simulação:

Parâmetro	Valor	Unidade
Força axial no braço superior	1347	N
Força axial no braço inferior	1312,6	N
Força direção velocidade	358,8	N
Rigidez da mola	28950	N/m
Material	Aço 1020 (laminado a frio)	-
Tensão de Escoamento	350	MPa
Tensão Limite de Ruptura	410	MPa

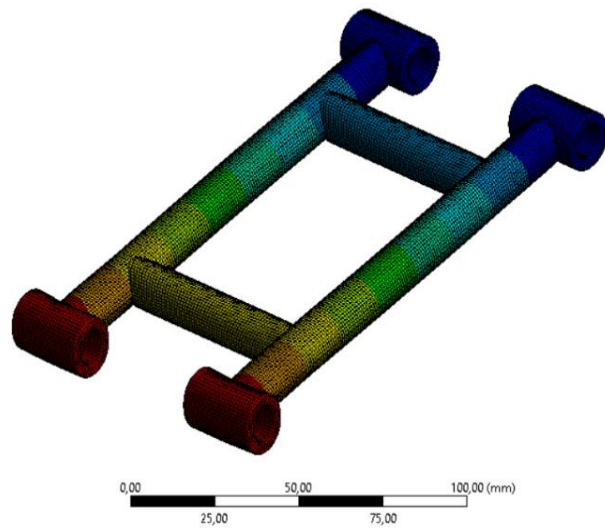
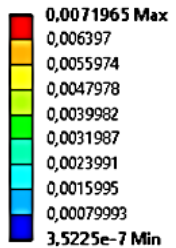
Adotamos o mesmo valor teórico para o coeficiente de segurança usado na estrutura, C.S. = 3,0.

# SIMULAÇÃO ANSYS

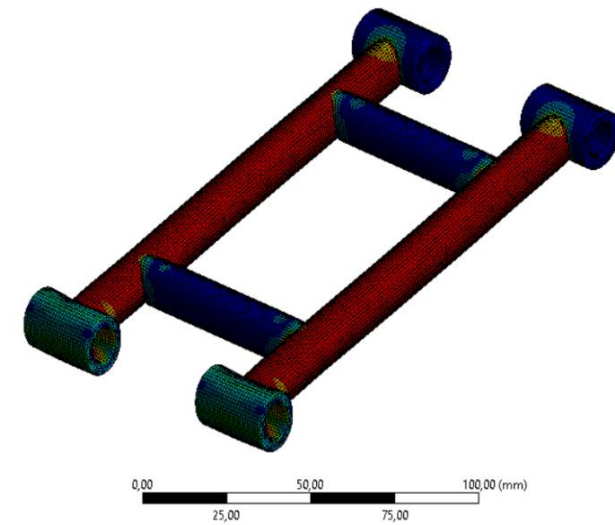
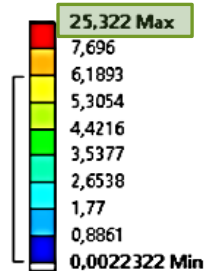
- Análise da Suspensão Duplo A

## Deformação total do braço superior

A: Static Structural  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
24/05/2020 23:37



A: Static Structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
24/05/2020 23:36



# SIMULAÇÃO ANSYS

---

- Análise da Suspensão Duplo A

- Cálculo do C.S. real do Braço superior

$$C.S. = \frac{\sigma_{esc}}{\sigma_{atuante\_máx}} = \frac{350 \text{ MPa}}{25,33 \text{ MPa}}$$

$$C.S. = 13$$





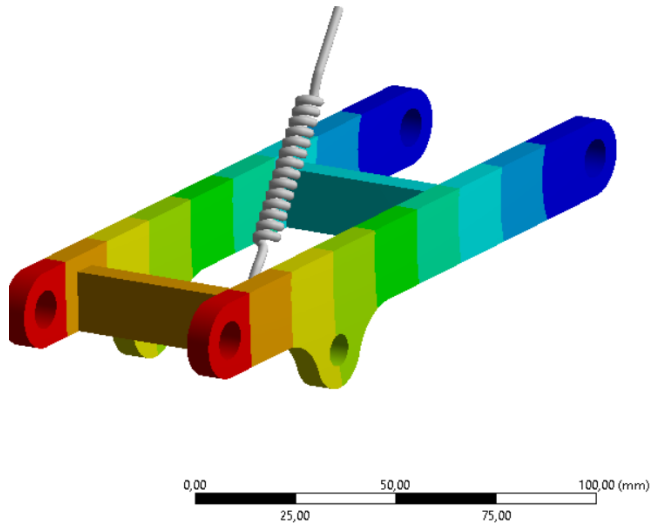
# SIMULAÇÃO ANSYS

- Análise da Suspensão Duplo A

## Deformação total do braço inferior

- Cálculo do C.S. real do Braço inferior

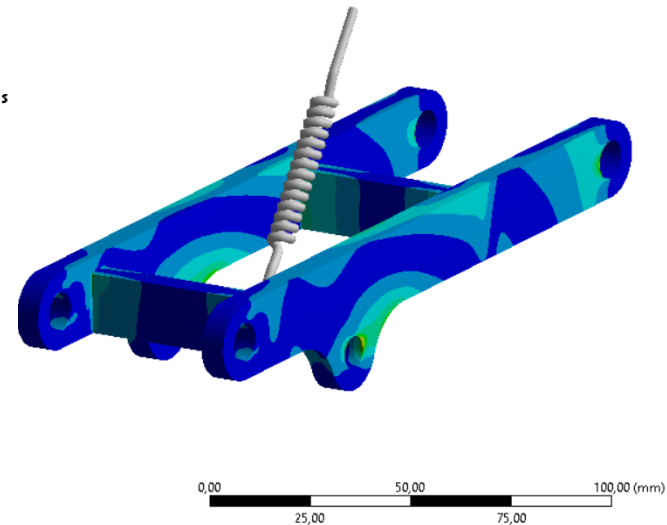
A: Static Structural  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
24/05/2020 23:47



A: Static Structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
24/05/2020 23:47

167,7 Max

Red	149,07
Orange	130,43
Yellow	111,8
Light Green	93,168
Green	74,535
Light Blue	55,902
Blue	37,27
Dark Blue	18,637
Black	0,0048627 Min



# SIMULAÇÃO ANSYS

- Análise da Suspensão Duplo A

- Cálculo do C.S. real do Braço inferior

$$C.S. = \frac{\sigma_{esc}}{\sigma_{atuante\_m\acute{a}x}} = \frac{350 \text{ MPa}}{167,7 \text{ MPa}}$$

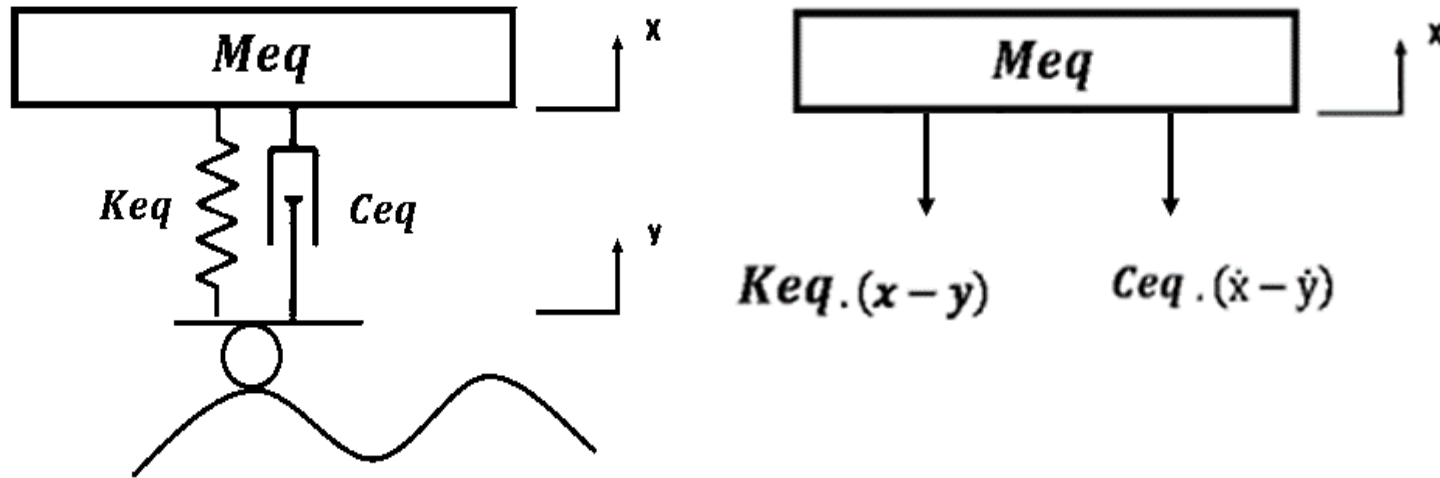
$$C.S. = 2,09$$



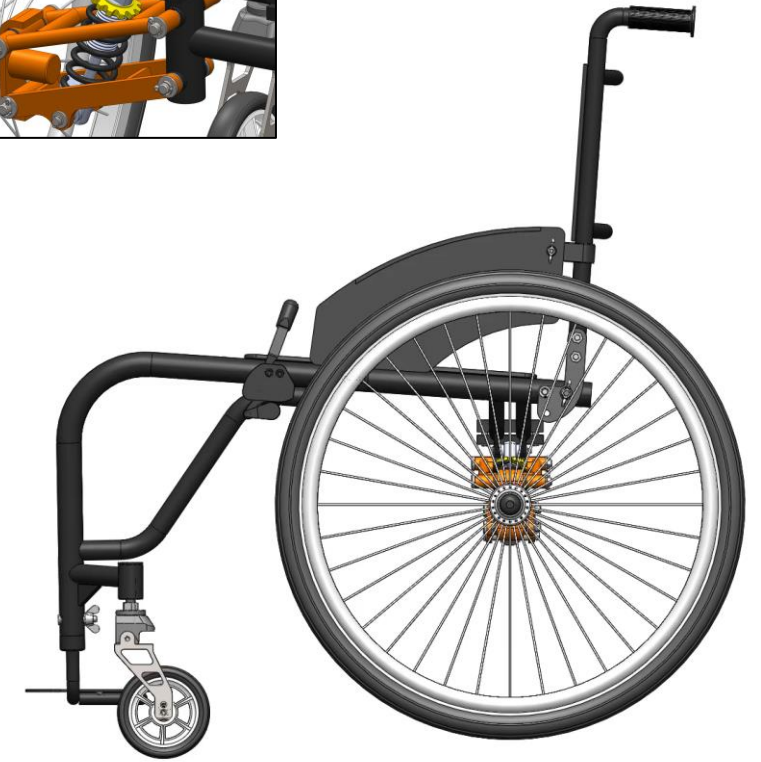
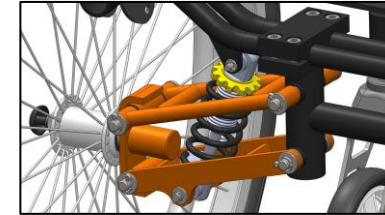
# MODELO MATEMÁTICO

- Bounce

## Modelo ¼ de Veículo



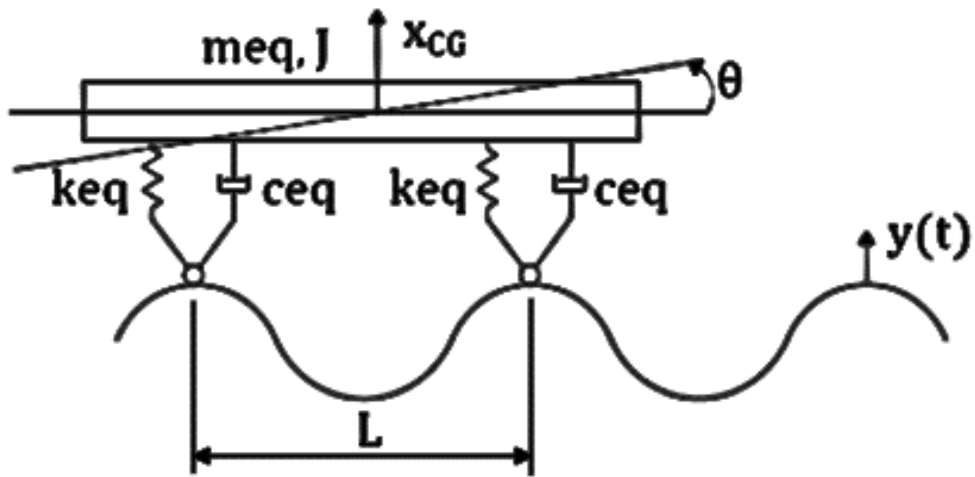
$$M_{eq} \cdot \ddot{x} + C_{eq} \cdot (\dot{x} - \dot{y}) + K_{eq} \cdot (x - y) = 0$$



# MODELO MATEMÁTICO

- Roll

Modelo ½ de Veículo



$$meq\ddot{x}_{CG} = -keq(x_d - y_d) - ceq(\dot{x}_d - \dot{y}_d) - keq(x_e - y_e) - ceq(\dot{x}_e - \dot{y}_e)$$

$$J\ddot{\theta} = -keq(x_d - y_d)\frac{L}{2} - ceq(\dot{x}_d - \dot{y}_d)\frac{L}{2} + keq(x_e - y_e)\frac{L}{2} + ceq(\dot{x}_e - \dot{y}_e)\frac{L}{2}$$



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Casos de simulação

- Lombada
- Meio-fio;
- Rampas de acesso;
- Pavimento perfil A;
- Pavimento perfil E;
- Pavimento perfil G;

## Caso A: (SEM SUSPENSÃO)



Fonte: Cavenaghi



## Caso B: (COM SUSPENSÃO)



Fonte: Autores

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

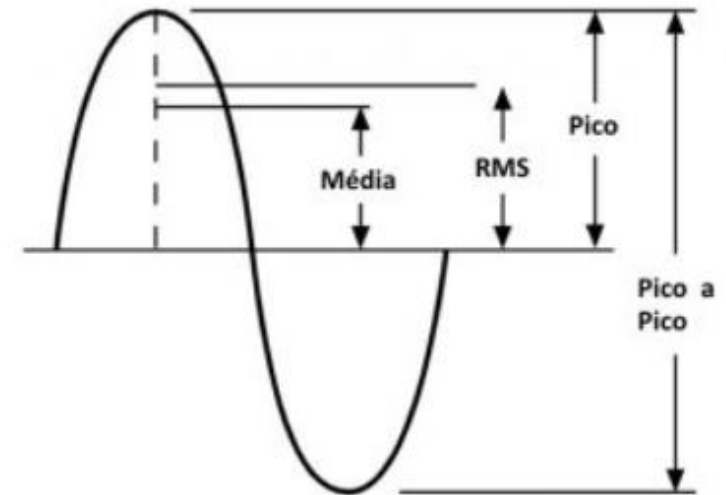
- Parâmetros

PARÂMETROS DE ENTRADA	
Massa Suspensa (Pessoa+Cadeira) (kg)	40,44
Constante Elástica da Mola (N/m)	13.960,00
Constante Elástica do Pneu (N/m)	774.863,10
Constante Elástica Equivalente do Sistema (N/m)	13.712,95
Fator de Amortecimento	0,40
Constante de Amortecimento da Suspensão (N*S/m)	588,78
Constante de Amortecimento do Pneu (N*S/m)	7,00
Constante de Amortecimento Equivalente (N*S/m)	595,78
Frequência Natural Massa Suspensa Equivalente (Hz)	2,93
Momento de Inércia (kg*m <sup>2</sup> )	15,92
Distância (L) entre rodas (m)	0,56
Raio de Giro	0,44
Índice Dinâmico	2,49
Frequência Natural Massa Suspensa em Roll (Hz)	1,97

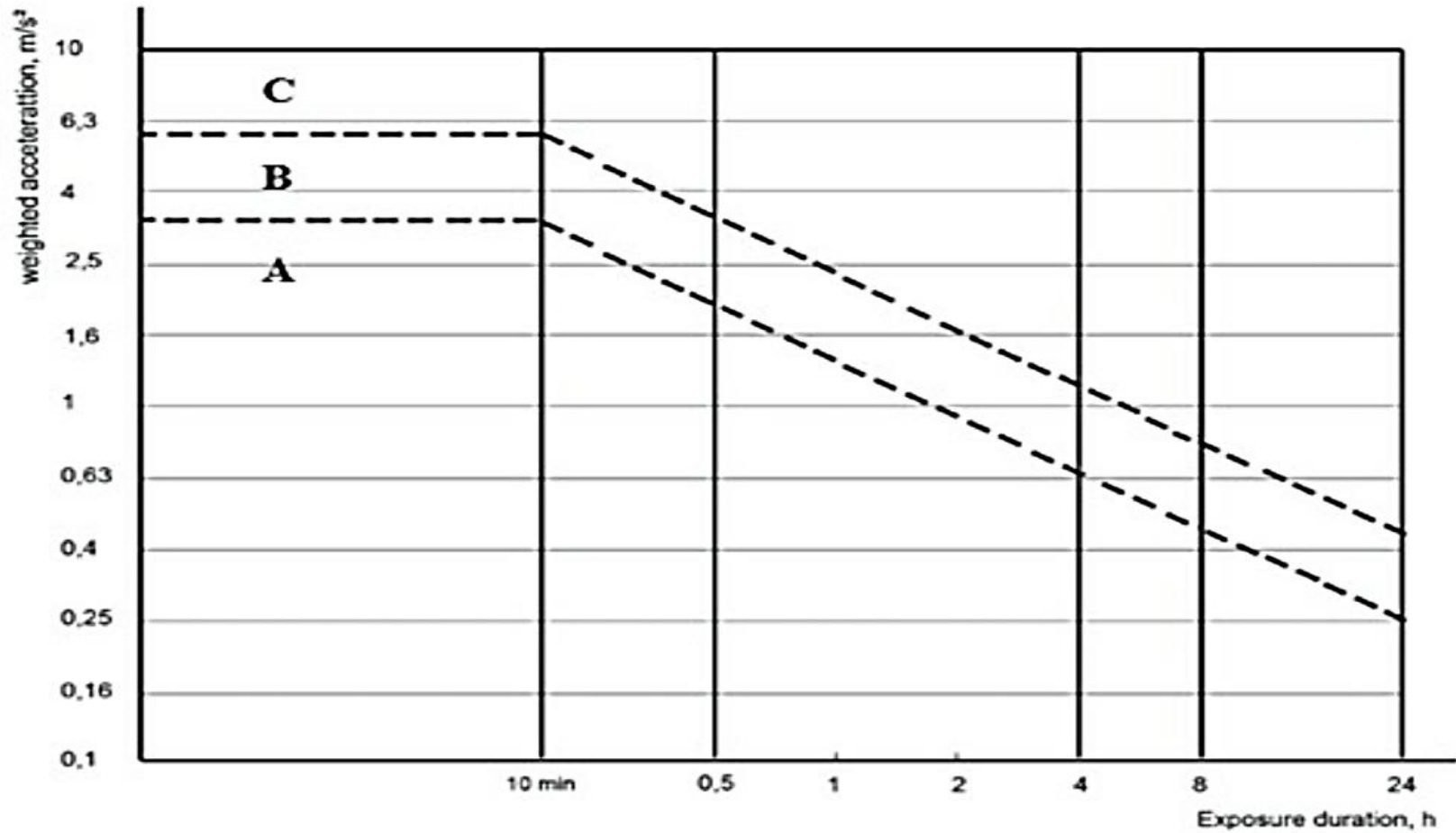
# RMS E CONFORTO HUMANO

**RMS (Raiz Média Quadrática):** é a medida de nível mais relevante, porque leva em consideração o histórico no tempo da onda e dá um valor de nível o qual é diretamente relacionado à energia contida, e portanto, à capacidade destrutiva da vibração, mostrando o potencial de dano da vibração.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) \cdot dt}$$



# RMS E CONFORTO HUMANO





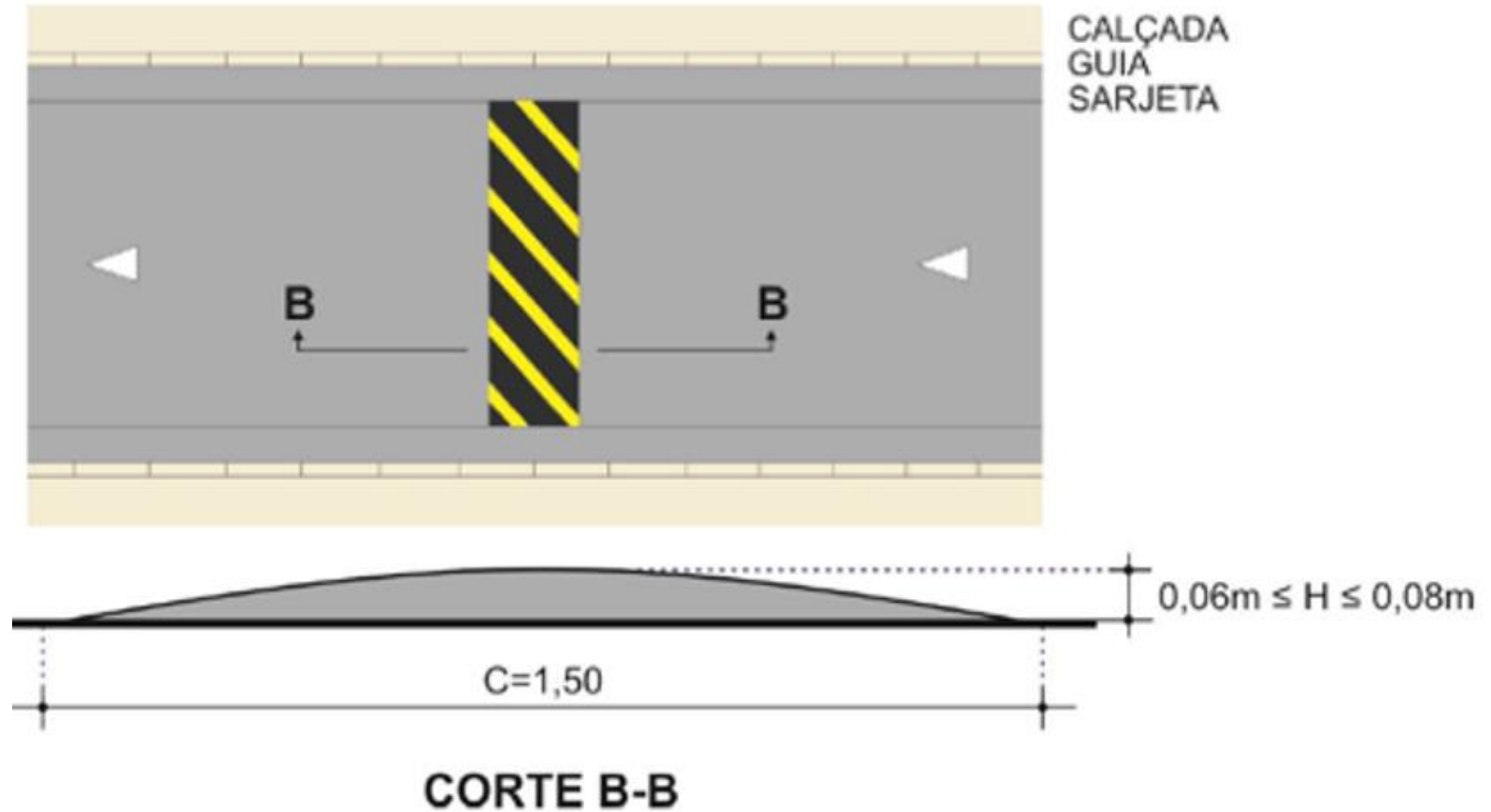
# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Lombada

$$T = \frac{\lambda}{v}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

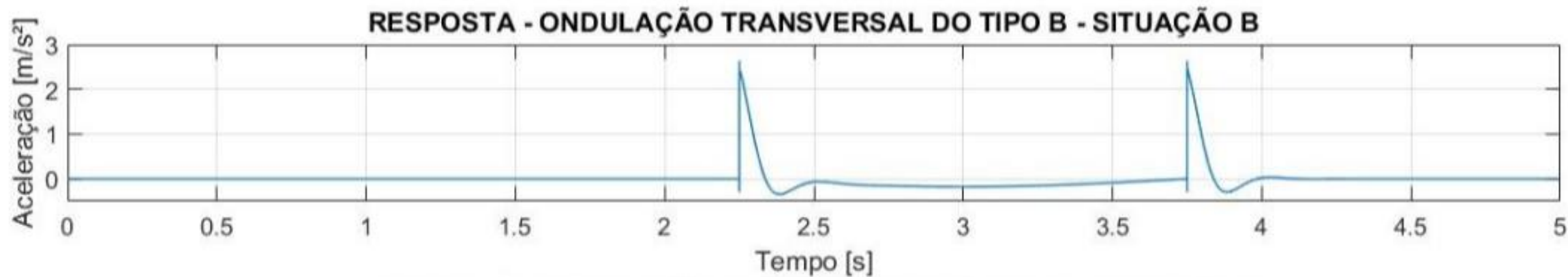
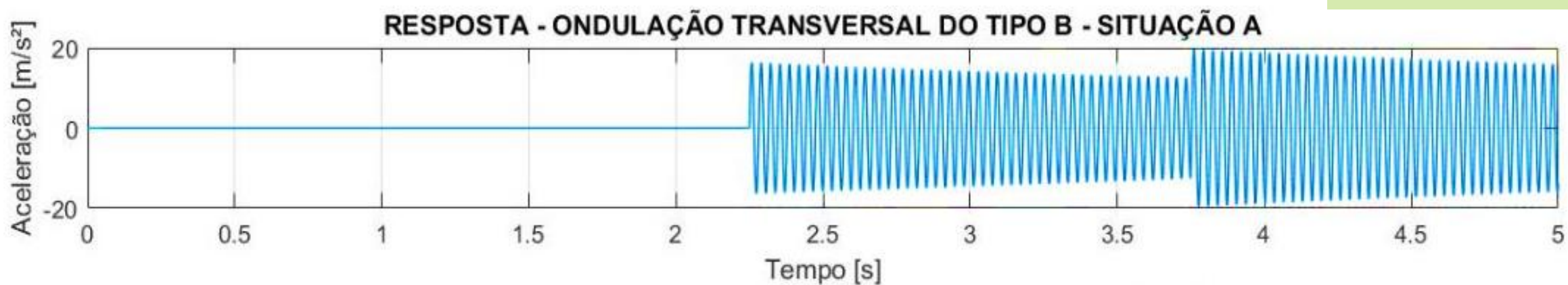
$$y(t) = Y_0 \cos\left(\frac{2\pi v}{\lambda} t\right)$$



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Lombada

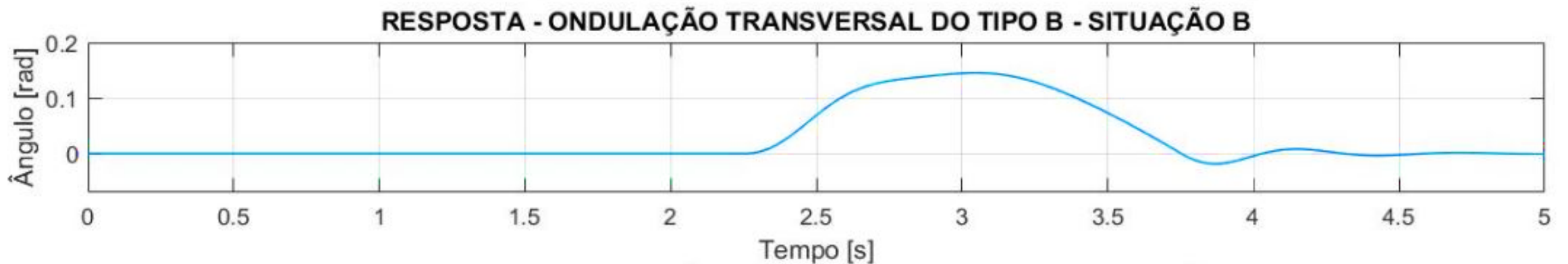
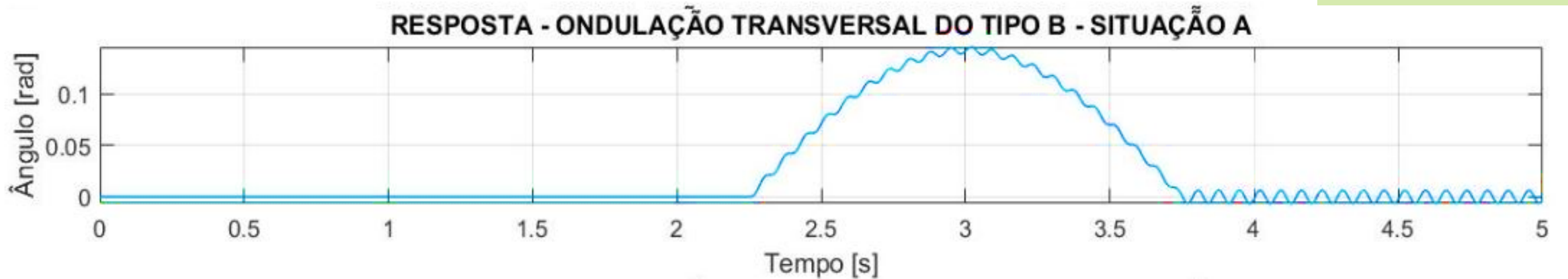
Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Lombada

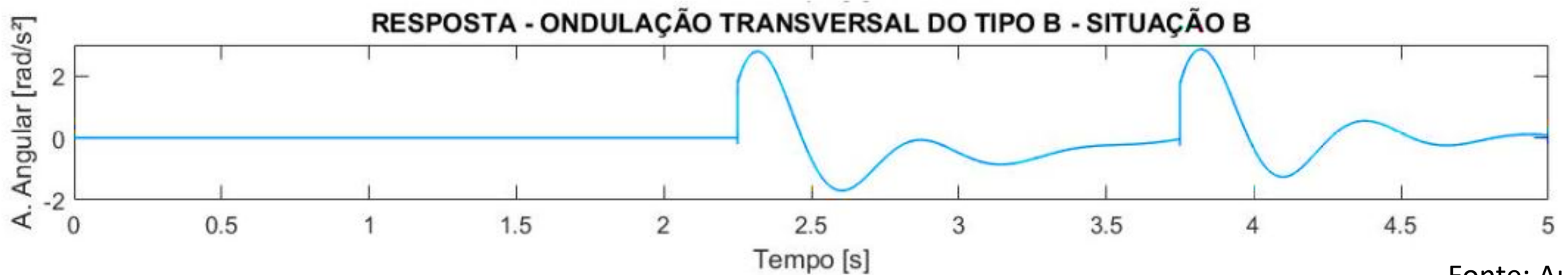
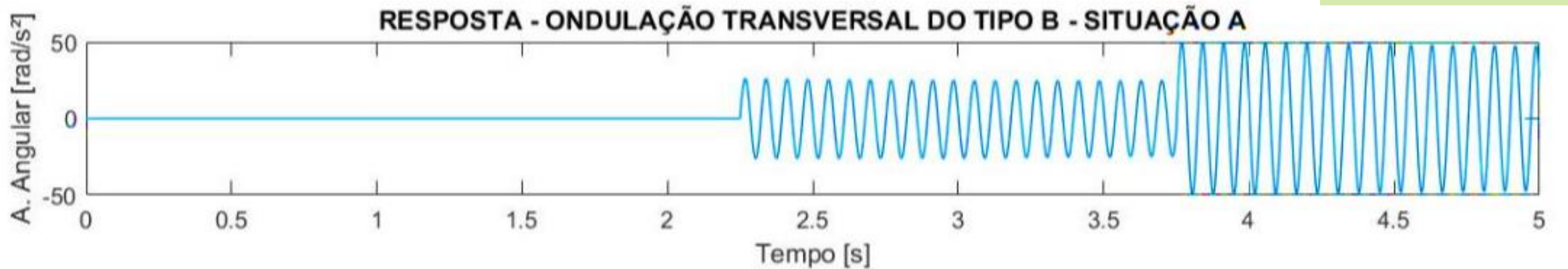
Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Lombada

Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Lombada

Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão

ONDULAÇÃO TRANSVERSAL TIPO B - 0,08m x 1,5m			
Velocidade = 0,50 m/s			
Aceleração Vertical Máxima (m/s <sup>2</sup> )	Situação A	Situação B	Redução Percentual
	21,5289	1,3381	93,7846%
Ângulo de Roll Máximo (rad)	Situação A	Situação B	Redução Percentual
	0,1456	0,1453	0,2060%
Aceleração Angular Máxima (rad/s <sup>2</sup> )	Situação A	Situação B	Redução Percentual
	49,6695	2,8663	94,2293%

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Meio fio

$$\frac{Y(S)}{U(S)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$x(t) = h - Ae^{-\zeta\omega_n t} \cos(\omega_a t - \phi)$$

$$A = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{v_0 + \zeta\omega_n x_0}{\omega_a}\right)^2}$$

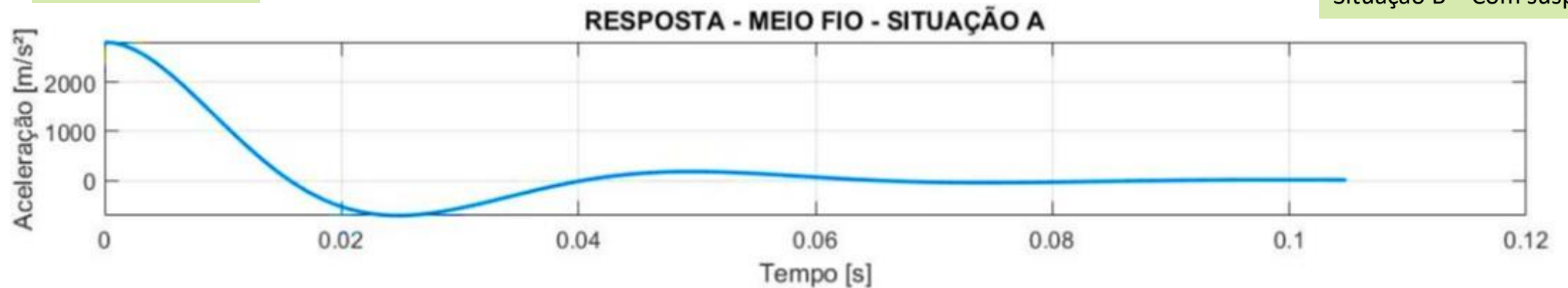
$$\phi = \arctan\left(\frac{v_0 + \zeta\omega_n x_0}{\omega_a x_0}\right)$$



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Meio fio

Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Meio fio

Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão

MEIO-FIO - ALTURA 0,175m			
Aceleração Vertical Máxima (m/s <sup>2</sup> )	Situação A	Situação B	Redução Percentual
	2.816,6500	49,8224	98,2311%



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Rampa

$$y_{A,B}(t) = \frac{\left( (h_{A,B} \cdot t) - \left( \frac{2 \cdot h_{A,B}}{v} \right) \right) \cdot v}{L_{A,B}}$$

Onde:

$v$  = velocidade do corpo em movimento [m/s]

$t$  = tempo do movimento [s]

$h_A$  = desnível da Rampa A [m]

$h_B$  = desnível da Rampa B [m]

$L_A$  = Comprimento da Rampa A [m]

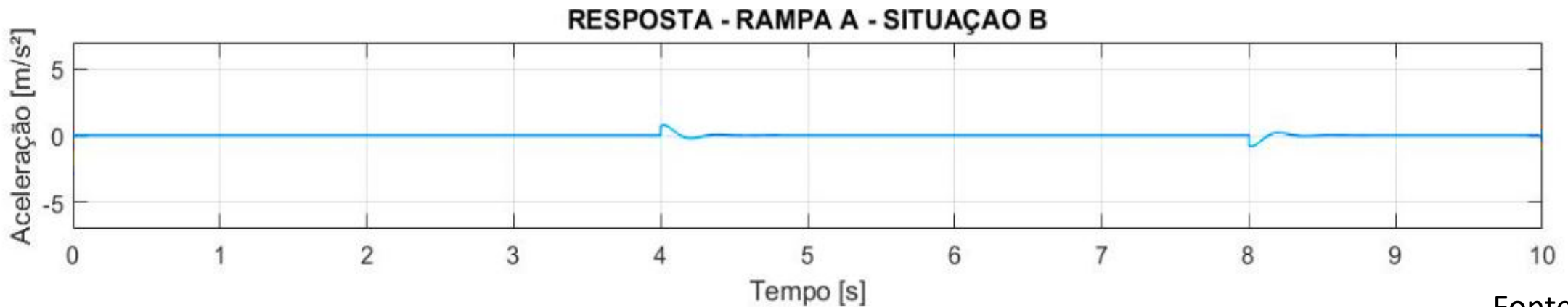
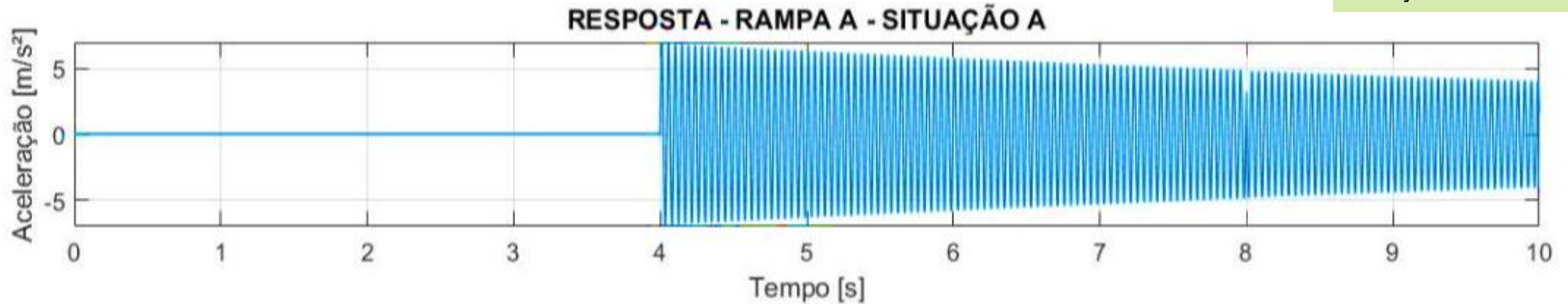
$L_B$  = Comprimento da Rampa B [m]



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Rampa

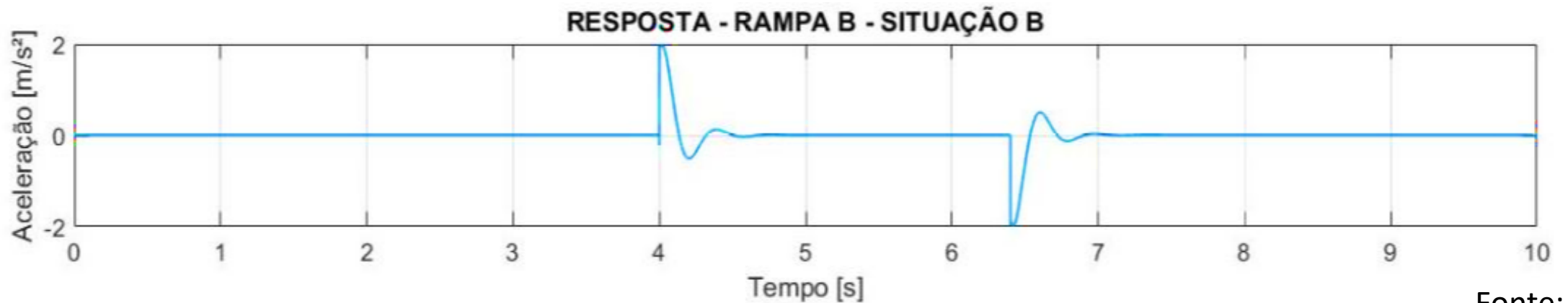
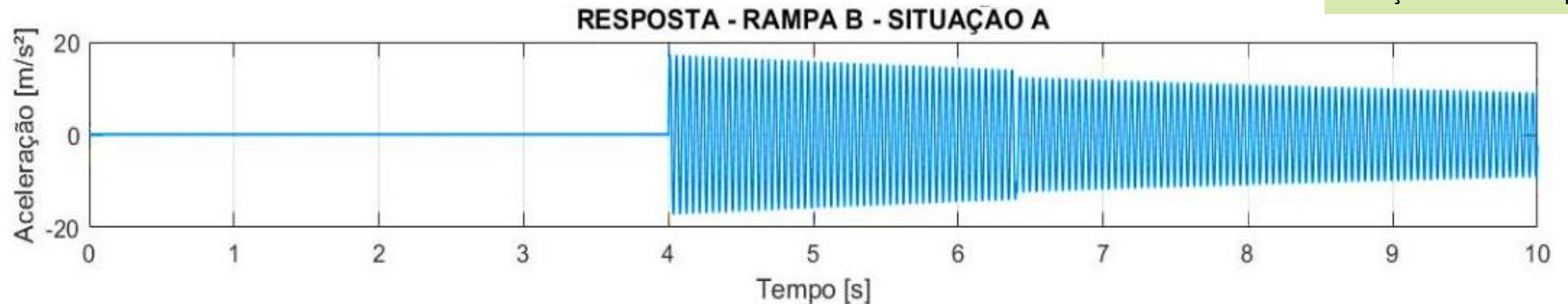
Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Rampa

Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Rampa

Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão

RAMPA A - 0,20m x 2,00m			
Velocidade = 0,50 m/s			
Aceleração Vertical Máxima (m/s <sup>2</sup> )	Situação A	Situação B	Redução Percentual
		6,9152	0,7947

RAMPA B - 0,30m x 1,20m			
Velocidade = 0,50 m/s			
Aceleração Vertical Máxima (m/s <sup>2</sup> )	Situação A	Situação B	Redução Percentual
		17,2787	1,9860

# TIPOS DE PAVIMENTOS

De acordo com a ISO 8606 temos regulamentado classificações de calçadas

Tipos de calçadas	Classe
Pista Lisa	A
Pista Suave	B
Desnivelamento leve	C
Desnivelamento médio	D
Desnivelamento grave	E
Desnivelamento alto	F
Desnivelamento altíssimo	G
Desnivelamento total	H

Fonte: ISO 8608



Fonte: Rc pisos



Fonte: Mobilize

Fonte: O globo

# TIPOS DE PAVIMENTOS

De acordo com a ISO 8606 temos regulamentado classificações de calçadas

Tipos de calçadas	Classe
Pista Lisa	A
Pista Suave	B
Desnivelamento leve	C
Desnivelamento médio	D
Desnivelamento grave	E
Desnivelamento alto	F
Desnivelamento altíssimo	G
Desnivelamento total	H

Fonte: ISO 8608

Classe	c (m <sup>2</sup> ciclos /m)
A	$1,6 \times 10^{-7}$
B	$6,4 \times 10^{-7}$
C	$2,56 \times 10^{-6}$
D	$1,024 \times 10^{-5}$
E	$4,096 \times 10^{-5}$
F	$1,6384 \times 10^{-4}$
G	$6,5536 \times 10^{-4}$
H	$2,62144 \times 10^{-3}$

Fonte: ISO 8608

# TIPOS DE PAVIMENTOS

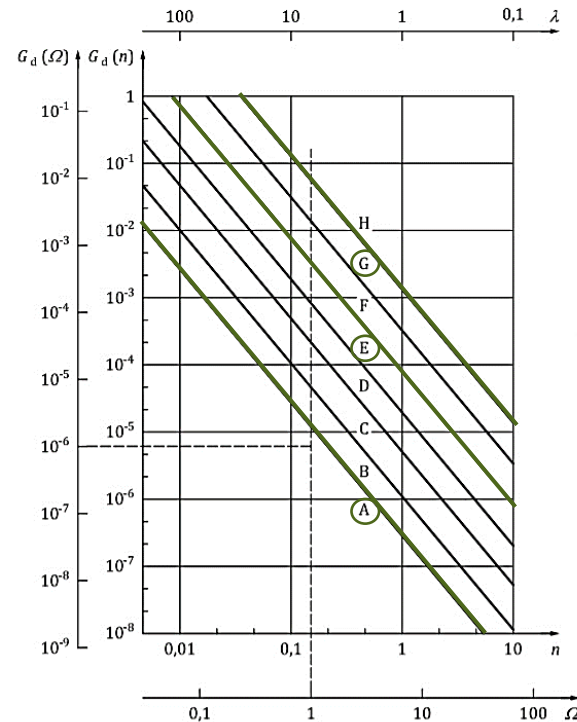
$$S_{SR} = c \times n_{SR}^{-n} \left[ \frac{m^3}{\text{ciclos}} \right]$$

$S_{SR}$  – Densidade espectral de potência  $\left[ \frac{m^3}{\text{ciclos}} \right]$

$n_{SR}$  – Frequência espacial  $\left[ \frac{\text{ciclos}}{m} \right]$

$n$  – Constante adimensional

$c$  – Constante com unidade de medida que depende do valor de  $n$ , para  $n = 2$ ,  $c$  é expresso em  $m^2$



$$n_{SR} := \frac{1}{\lambda} \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{\min} = 0,01 \text{ m} \\ \lambda_{\max} = 10 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$h(t) = \sum A_i \times \sin(2 \times \pi \times fr_i \times (t - \phi_i))$$

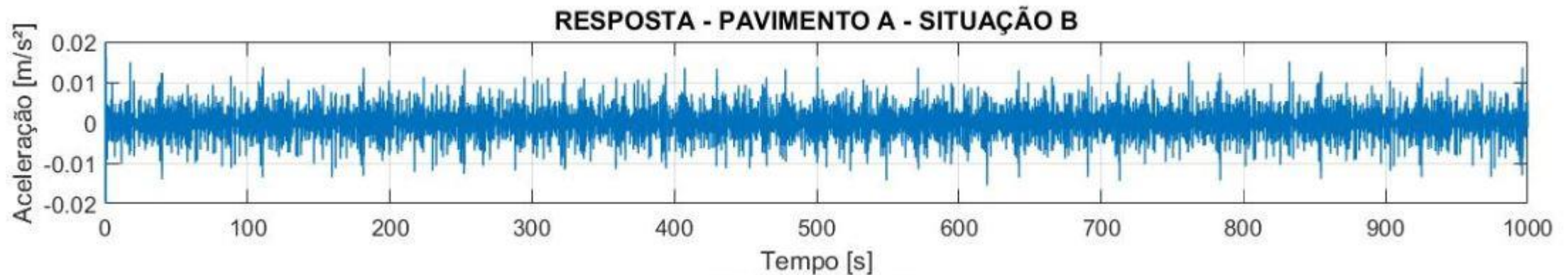
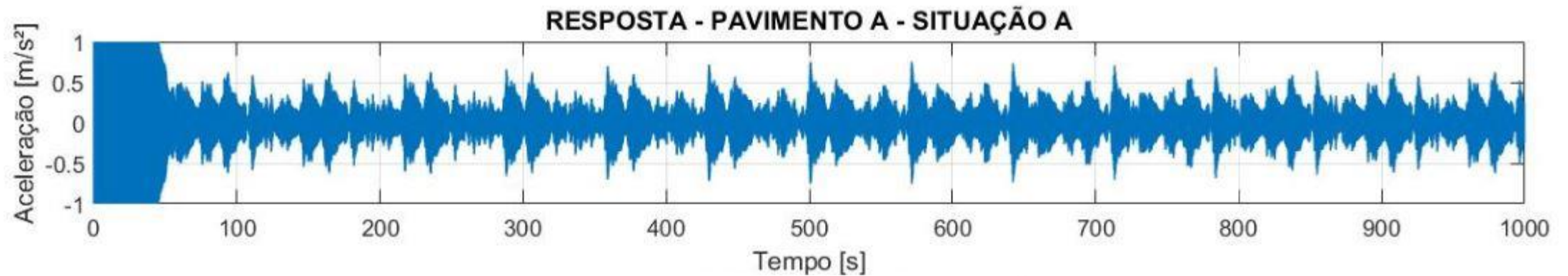
Fonte: Genta Morello

Fonte: ISO 8608

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Pavimento A

Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão

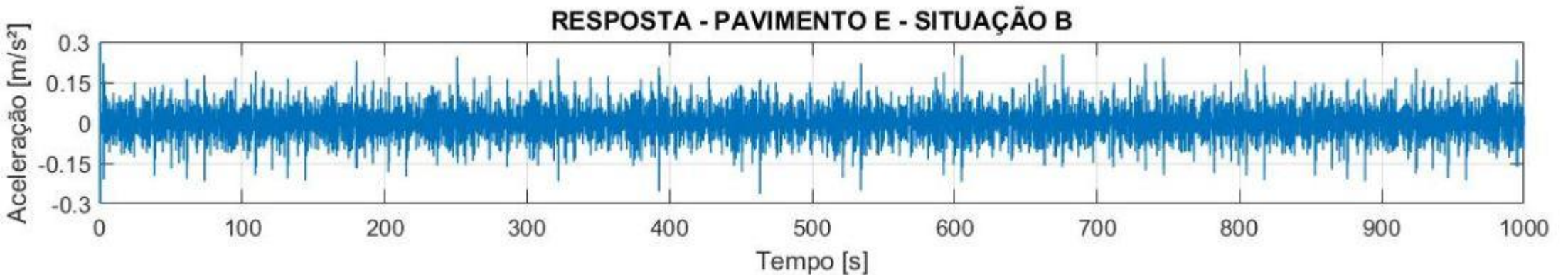




# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Pavimento E

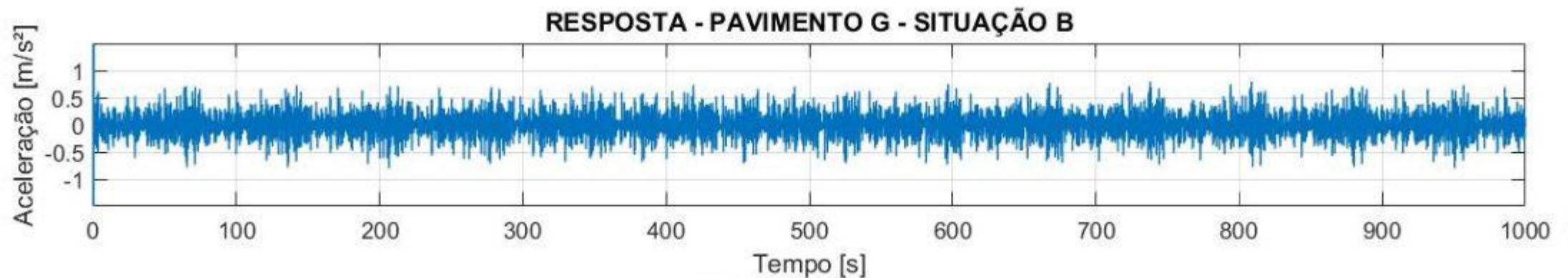
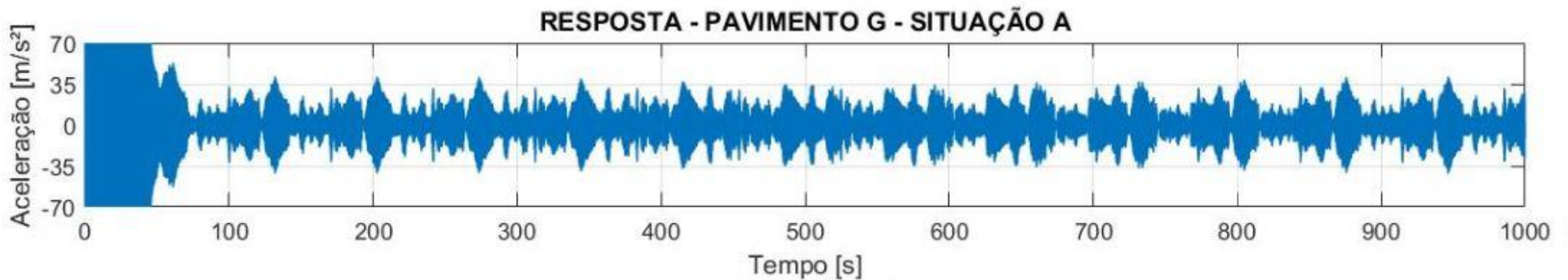
Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

- Pavimento G

Situação A – Sem suspensão  
Situação B – Com suspensão



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA

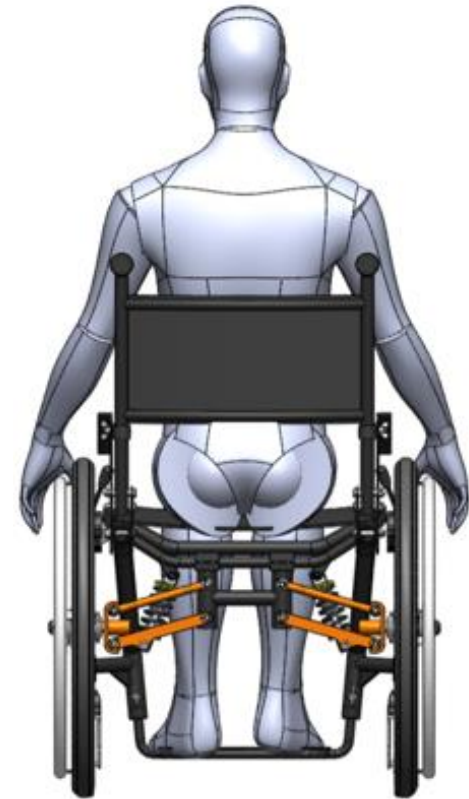
Situação A – Sem suspensão  
 Situação B – Com suspensão

Velocidade = 0,50 m/s			
PAVIMENTO DO TIPO A			
RMS da Aceleração Vertical (m/s <sup>2</sup> )	Situação A	Situação B	Redução Percentual
	2,1353	0,0049	99,7705%
PAVIMENTO DO TIPO E			
RMS da Aceleração Vertical (m/s <sup>2</sup> )	Situação A	Situação B	Redução Percentual
	43,8775	0,0933	99,7874%
PAVIMENTO DO TIPO G			
RMS da Aceleração Vertical (m/s <sup>2</sup> )	Situação A	Situação B	Redução Percentual
	133,6509	0,3067	99,7705%

# DISCUSSÃO DOS CÁLCULOS

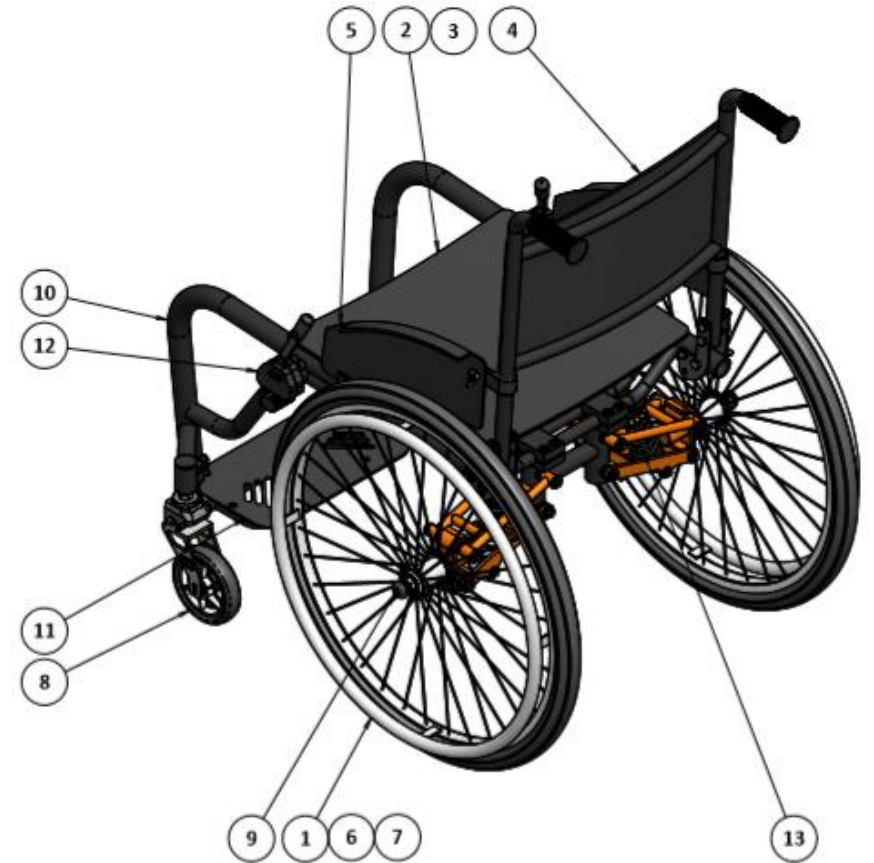
---

- Velocidade do movimento;
- Rigidez do sistema;
- Outras fontes de rigidez e amortecimento;
  - Tecidos Moles
  - Almofada
  - Histerese
- Ganho de conforto.



## CUSTO

Nº	Item	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1	Roda traseira	2	R\$215,85	R\$431,71
2	Assento	1	R\$68,00	R\$68,00
3	Almofada	1	R\$109,00	R\$109,00
4	Encosto	1	R\$190,00	R\$190,00
5	Apoio de Braço	2	R\$31,28	R\$62,57
6	Rolamentos	4	R\$13,33	R\$53,33
7	Cubo de Roda	2	R\$38,00	R\$76,00
8	Rodizio	2	R\$45,60	R\$91,20
9	Eixo Quick	4	R\$45,79	R\$183,17
10	Estrutura	1	R\$116,08	R\$116,08
11	Apoio para os pés	1	R\$2,96	R\$2,96
12	Freios	1	R\$79,00	R\$79,00
13	Amortecedor + Mola	2	R\$53,11	R\$106,22
14	Mão de Obra e Extras	1	R\$339,69	R\$339,69
<b>TOTAL</b>				<b>R\$1.908,93</b>



# CUSTO BENEFÍCIO

Alguns exemplos de cadeiras de rodas vendidas atualmente:



Fonte: Ortomix

Cadeira de Rodas  
Rally Ortomix

R\$ 8.997,00



Fonte: Cavenaghi

Cadeira de Rodas Star  
Lite Ortobrás

R\$ 2.290,00

- Comparação MobiChair x Concorrência:

	Concorrência	$\Delta$
Cadeira de Rodas Rally Ortomix	R\$8.997,00	471,31%
Cadeira de Rodas Star Lite Ortobrás	R\$2.290,00	-19,96%

Fonte: Autores

# CUSTO BENEFÍCIO

---

- Benefícios
- Sistema de suspensão que reduz à vibração consideravelmente
- Preço similar à uma cadeira de rodas monobloco padrão;
- Montagem simples e prática;
- Fácil manutenção;
- Componentes nacionais;
- Produzida com material leve e resistente;

# CONCLUSÃO

---

Tendo em vista todas as simplificações do projeto em estudo, é possível afirmar que o objetivo de criar um dispositivo que reduz a vibração foi alcançado, e com um preço relativamente competitivo.

Mas vale ressaltar que são necessários estudos futuros para validar os resultados obtidos e garantir maior conforto para as pessoas que utilizam cadeira de rodas



# AGRADECIMENTOS

---

Agradecemos a atenção de todos e o auxílio e apoio do nosso orientador Mestre Fernando Marques e o apoio dos professores:

Dr. Arnaldo Forgas;

Dr. Marko Ackermann;

Dr. Olavo Luppi Silva;

Me. André de Souza Mendes;

Me. Fabrizio Leonardi

Me. Rafaela Andrade Nascimento Chumbo

# INTEGRANTES

---

CARLOS HENRIQUE SANTOS LIMA	- 12.114.459-6
FLUVIO DE ASSIS SANTANA	- 12.113.494-4
JORGE LUIZ NASCIMENTO CHUMBO FILHO	- 12.213.350-7
KÁSSIA DE SOUZA MOREIRA	- 12.114.570-0
LETÍCIA BEZERRA	- 12.114.761-5
LETÍCIA FERNANDES SANCHES	- 12.217.272-9
MARIANA TAGLIERI	- 12.211.270-9
RENAN TANAJURA DA SILVA	- 12.111.494-6
RODRIGO VERGUEIRO GOMES	- 12.214.044-5
VICTOR ARTEAGA BATISTA	- 12.114.538-7

---

**OBRIGADO!**

