

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA EXERCÍCIO DE FORÇA  
VISANDO AO MELHOR DESEMPENHO DOS MEMBROS SUPERIORES PARA A  
MASSAGEM CARDÍACA EXTERNA EM AMBIENTES DE HIPO E  
MICROGRAVIDADE**

**Aluna: LARA COLOGNESE**

**Dezembro de 2008**



Lara Colognese

**Desenvolvimento de um Equipamento para Exercício de Força visando ao melhor desempenho dos Membros Superiores para a Massagem Cardíaca Externa em ambientes de Hipo e Microgravidade**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof. Dra. Thais Russomano

**Porto Alegre**

**2008**

## SUMÁRIO

Agradecimentos	V
Resumo	VII
Abstract	VIII
Lista de Figuras	IX
Lista de Equações	XII
Lista de Quadros	XIII
Lista de Abreviações	XIV
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Objetivo Geral	5
1.3 Objetivos Específicos	6
1.4 Organização da Dissertação	7
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>8</b>
2.1 Anatomofisiologia Muscoloesquelética	8
2.1.1 Componentes do Sistema Muscoloesquelético	9
2.1.2 Músculo Estriado Esquelético	10
2.1.3 Estrutura das Fibras Musculares	13
2.1.4 Contração Muscular	16
2.1.5 Articulação e Músculos da Flexão e da Extensão do Cotovelo	19
2.1.6 Ações Concêntrica e Excêntrica	23

2.2 Biomecânica do Movimento	26
2.2.1 Princípios da Física Dinâmica	26
2.2.2 Fundamentos da Biomecânica	30
2.2.3 Músculos Recrutados para Exercício de Força em MMSS	33
2.3 Ambiente Espacial	38
2.3.1 Microgravidade	40
2.3.2 Hipogravidade	42
2.4 Fisiologia Humana Espacial	44
2.4.1 Exercício Físico em Diferentes Ambientes	45
2.4.2 Adaptações Musculoesqueléticas	47
2.4.3 Adaptações Cardiovasculares	49
2.4.4 Benefícios do Exercício Físico como Medida Preventiva	51
2.5 Reanimação Cardiopulmonar	54
2.5.1 Reanimação Cardiopulmonar em Terra	54
2.5.2 Estudos em Terra para Simulação da RCP em Ambientes Extremos	57
2.6 Estado da Arte	64
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO PARA EXERCÍCIO DE FORÇA EM MMSS PARA USO ESPACIAL</b>	<b>67</b>
3.1 Considerações Iniciais	67
3.2 Materiais e Metodologia do Hardware	72
3.2.1 Estruturas de Apoio	72
3.2.2 Parafuso	74
3.2.3 Servo Atuador	74

3.2.4 Engrenagens	75
3.2.5 Potenciômetros	76
3.2.6 Cabo de Aço	77
3.2.7 Material para Atrito	78
3.2.8 Empunhadura	78
3.2.9 Velcro	78
3.2.10 Braçadeira	79
3.2.11 Esfigmomanômetro	79
3.2.12 Desenvolvimento do Equipamento	79
3.3 Materiais e Metodologia do Software	89
3.3.1 Circuito de Acionamento	89
3.3.2 Circuito para Aquisição de Dados	90
3.3.3 Plataforma de Desenvolvimento	92
3.3.4 Desenvolvimento do Software	94
3.3.4.1 Aquisição de Dados	102
3.3.4.2 Criação de Arquivos	103
3.3.4.3 Controle do Estresse	103
3.3.4.4 Salvamento em Disco	106
3.3.4.5 Visualização de Dados	106
3.3.4.6 Porta Paralela	108
3.3.4.7 Determinação do Estresse	108
3.3.4.8 Determinação da Angulação	109
3.3.4.9 Tabela	110

3.3.5	Metodologia da Calibração do Equipamento_____	110
3.3.6	Metodologia para análise da Resistência do Material Atritante_____	111
3.3.7	Metodologia para gerar o Estresse no Equipamento_____	113
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO_____</b>	<b>115</b>
4.1	Apresentação dos Resultados_____	115
4.2	Resultados quanto às Dimensões do Equipamento_____	116
4.3	Resultados relacionados à Resistência do Equipamento_____	118
4.4	Resultados quanto à Segurança do Equipamento_____	109
4.5	Resultados quanto à Estrutura Anatômica do Equipamento_____	121
4.6	Resultados quanto à Higiene do Equipamento_____	123
4.7	Resultados quanto ao Atrito Gerado no Equipamento_____	125
4.8	Resultado quanto ao Estresse Gerado_____	125
4.9	Resultados quanto à Calibração do Equipamento_____	127
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO_____</b>	<b>128</b>
5.1	Quanto à Utilização do Equipamento_____	129
5.2	Quanto às Dimensões do Equipamento_____	130
5.3	Quanto à Resistência do Equipamento_____	130
5.4	Quanto à Segurança do Equipamento_____	131
5.5	Quanto à Estrutura Anatômica do Equipamento_____	131
5.6	Quanto à Higienização do Equipamento_____	132
5.7	Quanto à manutenção do Equipamento_____	132
5.8	Quanto à Intensidade do Estresse Gerado_____	133
5.9	Quanto ao Controle do Equipamento_____	134

5.10 Quanto à Operacionalidade do Equipamento	135
5.11 Conclusão Final	136
5.12 Trabalhos Futuros	136
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>138</b>



## RESUMO

O Suporte Básico de Vida (BLS) tornou-se requisito fundamental no treinamento dos astronautas devido à grande redução do condicionamento físico destes, causados por períodos prolongados em Microgravidade, idade mais avançada dos integrantes e o aumento das atividades extraveiculares por missão em relação ao início dos vôos espaciais tripulados. Ao mesmo tempo, a ausência ou a redução do peso corporal em Micro ou Hipogravidade, respectivamente, dificulta ou quase inviabiliza a realização da Reanimação Cardiopulmonar (RCP) extra-terrestre. Associado a isto, os exercícios realizados nas missões espaciais para ativar o sistema cardiovascular e tentar diminuir a perda osteomuscular concentram-se nos membros inferiores, por estes serem anti-gravitacionais em terra. O entendimento deste problema incentivou o presente estudo, que teve como finalidade desenvolver um equipamento para exercício de força em membros superiores (MMSS) em ambientes de Hipo e Microgravidade, objetivando uma melhora e aumento da capacidade muscular dos MMSS, fundamental para a adequada realização da Massagem Cardíaca Externa (MCE) em missões espaciais tripuladas e em bases humanas extra-terrestres. Este equipamento atende às características de fácil portabilidade, operacionalidade, segurança e higienização, passível de ser adaptado para qualquer indivíduo. É capaz ainda de proporcionar estresse aos MMSS com o máximo de desempenho, sendo o nível de intensidade das cargas ajustável a cada usuário, proporcionando ajustes precisos de controle, de posicionamento e de informações.

**Palavras-chaves:** Ambiente Espacial, Membros Superiores, Exercício de Força, Equipamento para exercício de Força para MMSS, Massagem Cardíaca Externa.

## ABSTRACT

Basic Life Support (BLS) has become a fundamental requirement in the training of astronauts due to large reduction in their physical conditioning that can occur, caused by prolonged periods in microgravity, the increased age of those taking part, and the rise in activity of moonwalk missions when compared to the beginning of manned space flights. At the same time, the absence or reduction of body weight in these environments makes it difficult or almost impossible to carry out Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) in space. Associated with this, the exercises performed in space missions to activate the cardiovascular system and try to reduce the loss of muscle mass and bone tissue concentrates on the lower limbs, since they act on Earth as the anti-gravitational ones. The understanding of this issue has encouraged this study, which was intended to develop resistance exercise equipment for the upper limbs (UL) in environments of hypo and microgravity, aimed at improving and increasing the muscle capacity of UL, essential for the proper conduct of External Cardiac Massage (ECM) in manned space missions and on manned bases in space. This equipment meets the requirements of more portability, operability, safety and hygiene, can be adapted to any individual and is capable of providing stress to the UL with maximum performance, the level of intensity of loads adjustable for each user, providing precise adjustment of control, and placement of information.

**Key words:** Space Environment, Upper Limbs, Power Exercise, Power Equipment for UL, External Cardiac Massage.

# INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Quando uma força age sobre um corpo ou material, estes reagem, resultando em estresses, ou seja, resistências internas reagindo a uma força externa (ALTER, 1999).

A função do músculo é desenvolver ou gerar tensão, processo este chamado de contração muscular, na qual sua principal função é produzir movimento. Outras duas funções essenciais associadas à contração muscular são manter a postura e produzir calor corporal (ALTER, 1999).

A tensão, segundo HALL (1993), define-se como uma força de retração exercida pelo tecido muscular. Esta força de tensão, desenvolvida pelo músculo, cria um estiramento nas inserções ósseas e torques nas articulações nos músculos em atividade.

O exercício físico tem como objetivo principal facilitar as adaptações biológicas que aprimoram o desempenho muscular em tarefas específicas, aumentando a aptidão física e a capacidade funcional do corpo humano (FLECK & KRAEMER, 2006).

Essas adaptações exigem a adesão a programas de trabalho minuciosamente planejados, com atenção focada em fatores como: frequência e duração das sessões

de trabalho; tipo de treinamento; velocidade, intensidade, duração e repetição da atividade; intervalo de repouso e competição apropriada (McARDLE, 1998).

A gravidade contribui significativamente para a intensidade do estresse induzido pelo exercício, já que o desenvolvimento da força muscular para a realização das mais variadas atividades, tais como o deslocamento do corpo e o levantamento e o arremesso de objetos, depende das forças aplicadas e da aceleração da gravidade. Assim, as capacidades de desenvolvimento e de manutenção da força com as ações musculares dinâmicas são requeridas para a execução do exercício físico (GARRETT, 2003).

Se o músculo esquelético providencia a força para o movimento do corpo e dos objetos junto à gravidade, no espaço a ausência da gravidade remove o principal estímulo que mantém a força e a resistência normais. Embora isto possa não vir em detrimento da execução de exercício no espaço, pode limitar significativamente o rendimento do trabalho no retorno a ambientes com gravidade (ibidem).

A força refere-se à capacidade de trabalho de um músculo ou de um grupo muscular, definida quanto à capacidade máxima possível de trabalho, isto é, precisamente o trabalho muscular máximo que uma pessoa é capaz de gerar com uma única contração isométrica (estática) e de duração ilimitada (POLLOCK & WILMORE, 1993).

Assim, define-se a força como o resultado de complexas integrações neuromusculares, sendo mais do que simplesmente uma função linear do tamanho do músculo (ibidem).

A conclusão geral é de que o ambiente espacial reduz a força, primeiramente dos membros inferiores (MMII), sendo que o grau de perda está diretamente associado à redução da massa muscular, em especial, nas musculaturas anti-gravitacionais (GARRETT, 2003).

Além da perda da força muscular, existe evidência que sugere que a fadiga muscular aumenta na exposição ao ambiente espacial, isto acontece devido à intensidade das contrações dos músculos no espaço serem proporcionalmente maiores no início e durante a manutenção de uma determinada tensão, diferente do que seria normalmente, levando à fadiga precoce (ibidem).

Sabe-se que os membros superiores (MMSS) em terra não são anti-gravitacionais, o que implica em pouca mudança em relação à perda de força quando no espaço. No entanto, a manutenção e o ganho de força em MMSS, para as mais diversas atividades laborais e de sobrevivência, têm-se tornado necessários e prioritários, porém, são pouco estudados e enfatizados (EVETTS, 2005).

Como referido anteriormente, os MMII e músculos paravertebrais, por serem músculos anti-gravitacionais com uma enorme exigência em Terra, sofrem perdas significativas no ambiente de Microgravidade. Devido a isto, os protocolos de exercícios

ênfatizam e concentram-se apenas na manutenção do trabalho físico destes grupos musculares durante as missões espaciais realizadas (McARDLE, 2003).

Algumas características tem sido focadas durante às missões espaciais: essas, estão sendo realizadas com maior tempo de duração, com mais atividades extraveiculares, tripulantes com idade mais avançada, porém, mais competentes e experientes tecnicamente, no entanto, os cuidados com a saúde dos mesmos tem sido redobrada (EVETTS, 2005).

Com isto, o Suporte Básico de Vida (BLS) tornou-se requisito fundamental no treinamento dos astronautas, devido às situações fisiológicas e à diminuição da capacidade física geral ocorridas durante as missões no espaço (ASHTON, 2002).

A grande dificuldade de se realizar a Reanimação Cardiopulmonar (RCP) em Micro e Hipogravidade se dá pela ausência ou pela importante redução do peso corporal, respectivamente, o que limita a aplicação da força necessária para deprimir o tórax em 40 mm – 50 mm (AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2005), motivo do presente estudo.

Contudo, este estudo objetiva-se, em desenvolver um equipamento específico para manutenção e maior ganho de força em MMSS em ambientes de Micro ou Hipogravidade.

Acredita-se que estes exercícios físicos poderão facilitar a realização da manobra de Massagem Cardíaca Externa (MCE) e proporcionar ganhos ao funcionamento cardiovascular, beneficiando a manobra de RCP em ambientes extraterrestres.

Portanto, a capacidade física tanto muscular quanto cardiovascular reduzidas, podem ser melhoradas ou mantidas no espaço, por meio de medidas corretivas ou preventivas, que incluem o exercício físico regular, existindo a necessidade clínica e experimental do uso de um instrumento que possa garantir a qualidade do exercício físico a ser realizado.

## **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo deste estudo foi desenvolver um equipamento para exercício de força visando ao melhor desempenho dos Membros Superiores para a Manobra de Massagem Cardíaca Externa em ambientes de Hipogravidade e Microgravidade.

### 1.3 Objetivos Específicos

A) Preencher uma lacuna existente na manobra de Massagem Cardíaca Externa em relação à manutenção e ganho de força nos MMSS, permitindo, assim, a melhor efetividade na realização do procedimento de compressão torácica em ambientes de Hipo e Microgravidade.

B) Projetar e desenvolver um equipamento com as seguintes características:

⇒ Ser pequeno, leve, portátil e de fácil manutenção;

⇒ Ser resistente e seguro, não propagando chamas em caso de acidentes adversos;

⇒ Ser passível de adaptação, ajustável ao tamanho do membro superior (MS) de qualquer indivíduo;

⇒ Ser de fácil limpeza, respeitando critérios de higiene;

⇒ Ser capaz de proporcionar estresse aos MMSS com nível de intensidade ajustável a cada usuário.

C) Implementar um sistema eletro-mecânico proporcionando ajustes precisos de controle, de posicionamento, de informações e de operacionalidade.



## 1.4 Organização da Dissertação

Num enfoque interdisciplinar, incluindo áreas de Engenharia, Educação Física e Saúde, esta Dissertação está composta por 6 capítulos:

O Capítulo 1 apresenta a Introdução, o Objetivo geral e os Objetivos Específicos para a elaboração deste estudo.

O Capítulo 2, descreve a Revisão Bibliográfica e apresenta uma breve revisão dos temas a seguir: Anatomofisiologia Muscoloesquelética, Biomecânica do Movimento, Ambiente Espacial, Fisiologia Humana Espacial, Reanimação Cardiopulmonar e Estado da Arte.

O Capítulo 3 descreve detalhadamente cada Material utilizado e a Metodologia aplicada para a construção do equipamento proposto.

Os Resultados e a Discussão, no Capítulo 4, contemplam o funcionamento do equipamento, objetivando o ganho de força em MMSS.

A Conclusão sintetiza a construção do equipamento para exercício de força em MMSS em ambientes de Hipo e Microgravidade e, está descrito no Capítulo 5, como também, às aplicações desse estudo e sugestões para trabalhos futuros são apresentados.

## CONCLUSÃO

Este estudo objetivou o desenvolvimento de um equipamento para exercício de força em MMSS visando o melhor desempenho na Manobra de Massagem Cardíaca Externa em ambientes de Hipogravidade e Microgravidade. Ainda, como apresentado anteriormente, a manutenção e ganho da força nos MMSS, justifica a importância desse equipamento quanto ao seu uso em ambientes extremos.

O equipamento é capaz de gerar estresse e poderá proporcionar ganho de força por meio de sua utilização em programas de exercícios físicos para MMSS, podendo ser utilizado como equipamento de apoio em missões espaciais por ter sido projetado e adaptado para ambientes de gravidade reduzida. Destaca-se, contudo, que apenas ensaios de bancada e vestimenta foram realizados no equipamento, sendo que nenhum teste foi realizado envolvendo seres humanos.

Este trabalho integrou, ainda, conhecimentos multidisciplinares das áreas de Medicina, Educação Física, Física e Engenharia.

## 5.1 Conclusão Final

O equipamento para exercício de força em membros superiores para a realização da massagem cardíaca externa em ambientes de Hipo e Microgravidade foi projetado e construído com sucesso. Suas especificações para atuarem durante um exercício físico foram ensaiadas e atendem critérios para uma missão espacial.

O novo equipamento é capaz de gerar estresse controlado aos MMSS, monitorando precisamente a intensidade e a angulação do esforço executado pelo usuário ao longo de um exercício e/ou treinamento físico.

Este trabalho constitui como resultado final um instrumento inédito e poderá ser utilizado para o apoio e manutenção do condicionamento físico dos MMSS de astronautas em ambientes com gravidade reduzida.