

Lucas Novelo

**Aperfeiçoamento do Clinostato 3D e seu uso no
estudo dos efeitos da microgravidade em
sementes de milho**

Porto Alegre

2016, v-1.0.0

Lucas Novelo

Aperfeiçoamento do Clinostato 3D e seu uso no estudo dos efeitos da microgravidade em sementes de milho

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

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Faculdade de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Orientador: Dario Francisco Guimarães de Azevedo

Porto Alegre

2016, v-1.0.0

Lucas Novelo

Aperfeiçoamento do Clinostato 3D e seu uso no estudo dos efeitos da microgravidade em sementes de milho/ Lucas Novelo. – Porto Alegre, 2016, v-1.0.0-118 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dario Francisco Guimarães de Azevedo

Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Faculdade de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2016, v-1.0.0.

1. Microgravidade. 2. Clinostato 3D. I. Dario Francisco Guimarães de Azevedo . II. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. III. Faculdade de Engenharia. IV. Aperfeiçoamento do Clinostato 3D e seu uso no estudo dos efeitos da microgravidade em sementes de milho

CDU 02:141:005.7

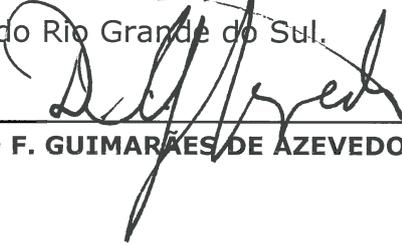


Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

APERFEIÇOAMENTO DO CLINOSTATO 3D E SEU USO NO ESTUDO DOS EFEITOS DA MICROGRAVIDADE EM SEMENTES DE MILHO

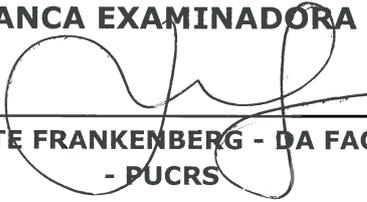
CANDIDATO: LUCAS NOVELO

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.



DR. DARIO F. GUIMARÃES DE AZEVEDO - ORIENTADOR

BANCA EXAMINADORA



**DR. CLAUDIO LUIS CRESCENTE FRANKENBERG - DA FACULDADE DE ENGENHARIA
- PUCRS**



DRA. MARLISE ARAÚJO DOS SANTOS - DO PPGE/FENG - PUCRS

PUCRS

Campus Central

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Sala 103 - CEP: 90619-900

Telefone: (51) 3320.3540 - Fax: (51) 3320.3625

E-mail: engenharia.pg.eletrica@pucrs.br

www.pucrs.br/feng

Dedico este trabalho a todos aqueles que possuem sonhos e que se esforçam para realizá-los.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos sempre são infiéis. Infiéis pelo simples fato de ser impossível ser grato à tudo e a todos que nos auxiliaram, nem que seja um pouco, na conquista de algo grandioso. Levando isso como verdade, a minha infidelidade, peço desculpas àqueles que aqui não menciono. Entretanto, preciso dizer o nome de alguns: meu orientador Dario Azevedo e professores Júlio Marques, Alexandre Franco, Leandro Astarita e Thais Rusomano, que colaboraram ativamente para a realização deste trabalho. Família e amigos sempre estão comigo, me dando força e dizendo o tão querido: - "vamos lá rapaz! Falta pouco, você será mestre!". Também gostaria de agradecer a PUCRS por prover suporte e espaço físico e instrumental e por fim o Diretor Técnico da Fepagro Ivan R.C. Krolow. Como disse no início, muitos não foram citados. Contudo, tenham a certeza que esse trabalho também é de vocês. Muito Obrigado.

*“As invenções são, sobretudo,
o resultado de um trabalho teimoso.” (Santos Dumont)*

RESUMO

A gravidade é uma força presente em todo o planeta e atuou durante a evolução de espécies animais e vegetais. Todas as estruturas hoje existentes são adaptadas à essa força.

O crescimento das plantas é guiado pela gravidade, direcionando o desenvolvimento da raiz a favor desta força e o caule contra. Esse tropismo causado pela gravidade não se mostrou presente em experimentos onde esta atuava com menor intensidade. Em experiências fora do planeta Terra, as plantas apresentaram um crescimento diferente, levando a crer que a gravidade é um fator que deve ser considerado para o desenvolvimento de espécies vegetais.

Estudos utilizando equipamentos simuladores de Microgravidade, como o clinostato 3D aprimorado no presente trabalho, também apresentaram resultados anômalos no crescimento de plantas, muito similar aos resultados obtidos em estudos realizados no interior de estações espaciais. Uma vez que simuladores de Microgravidade são para a ciência equipamentos tecnológicos de ponta e que auxiliam nos estudos dos efeitos causados pela gravidade, este trabalho tem como principal objetivo o aprimoramento de um clinostato 3D. Os aprimoramentos consistiram na adição de motores de passo de alta precisão, microcontrolador Arduíno e controle de velocidade dos motores digital e unilateral. Essas adições colaboraram para que o equipamento opere com maior robustez, confiabilidade e compatibilidade para inclusão de outros componentes e uso em pesquisas.

Para validação do equipamento, um experimento foi realizado com sementes da espécie *Zea mays* L., popularmente conhecido como milho. As sementes foram submetidas ao equipamento por dois períodos de tempo diferentes: 8 e 22 horas. Após, foram plantadas e cultivadas fora do clinostato por 25 dias. No estudo de validação, houve diferença significativa no crescimento nas plantas que sofreram ação da microgravidade para o primeiro tempo ($p < 0,01$) e também para o segundo ($p < 0,0001$), considerando na análise outros dois grupos de controle. Os resultados obtidos validaram a eficácia do aprimoramento do clinostato 3D, uma vez que as sementes que passaram pelo equipamento geraram plantas que apresentaram crescimento superior. Mais estudos para explicar as razões fisiológicas que levaram as plantas a crescer mais precisam ser realizados.

Palavras-chaves: Clinostato, máquina de posição randômica, clinostato 3d, microgravidade, milho.

ABSTRACT

The gravity is a force present in entire world and acted during the evolutionary process of the all species. Every biological structure present on Earth is adapted to this force.

The growing of the plants is guided by gravity. The root cells knows that they have to grown on direction of this force and the stem cells knows that they have to grown on the opposite direction. This tropism caused by gravity is not effective in microgravity environments.

Studies with microgravity equipment, as The 3D Clinostat improved in this work, show similar results as obtained in spaceships. These equipments are, for the science, very important. They help to develop microgravity experiments in the surface of the Earth, with low price and many possibilities of customization.

The prime objective of this work is to improve a 3D Clinostat prototype. New motors and a microcontroller was added to improve robustness, confiability and compatibility to new features and designs.

To evaluate the equipment modification, an experiment was made using seeds of maize. The seeds were put into equipment for two periods of time, 8 and 22 hours. After, the seeds were cultivated and the data was analyzed. The data shows significant statistical difference between the plants provided by the equipment seeds and the others, in both periods of time ($p < 0.01$ and $p < 0,0001$).

The equipment was validated by the experiment. The results shown difference in grown level. More studies are necessary to explain why microgravity change the maize seeds grown speed.

Key-words: Clinostat, 3D Clinostat, Random Positioning Machine, Microgravity, maize.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Clinostato 3D antes da modificação	27
Figura 2 – Clinostato 3D depois da modificação	27
Figura 3 – (a) Um físico no interior de uma cabine em repouso em relação à Terra; (b) Um físico no interior de uma cabine no espaço com aceleração de $9,8m/s^2$ (RESNICK; HALLIDAY; WALKER, 1988)	31
Figura 4 – Voo parabólico. Fonte: Agência Espacial Européia (www.esa.int)	31
Figura 5 – Desenho modificado de um clinostato 2D (RAUF, 2015)	35
Figura 6 – Máquina de posição randômica. (BORST; LOON, 2009)	36
Figura 7 – Crescimento de culturas de arroz. À esquerda o grupo de controle e à direita as plantas que cresceram com sementes que passaram por clinorotação	38
Figura 8 – Fenologia do milho: estágios de desenvolvimento da cultura (WEIS-MANN, 2007)	40
Figura 9 – Partes do crescimento inicial do milho (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003)	41
Figura 10 – Milho no estágio V3 (MAGALHÃES; DURÃES, 2006)	41
Figura 11 – Motores Primeiro Protótipo	44
Figura 12 – Estação de Controle	44
Figura 13 – Polias e correia	45
Figura 14 – Contatos Elétricos Rotativos	46
Figura 15 – Diagrama de Blocos	47
Figura 16 – Motor de Passo	48
Figura 17 – Motor de Passo	48
Figura 18 – Driver dos Motores de Passo	49
Figura 19 – Microcontrolador Arduino	50
Figura 20 – Display LCD	52
Figura 21 – Polia 3D - Modelo CAD	53
Figura 22 – Classificação/mapeamento das sementes nas bandejas	56
Figura 23 – Disposição das régua nas bandejas	57
Figura 24 – Plantas sendo limpas antes do processo de pesagem	58
Figura 25 – Discos de 1cm de diâmetro de folhas de milho	59
Figura 26 – Disco Fracionado para Encoder	62
Figura 27 – Gráfico de crescimento	64
Figura 28 – Médias de crescimento	65

Figura 29 – Médias de Pesos	65
Figura 30 – Níveis de Clorofila	66
Figura 31 – Níveis de Proteína	66
Figura 32 – Gráfico de crescimento	67
Figura 33 – Médias de crescimento	68
Figura 34 – Médias de Pesos	69
Figura 35 – Níveis de Clorofila	69
Figura 36 – Níveis de Proteína	69
Figura 37 – Comparativo dos grupos de plantas	78
Figura 38 – Circuito de Ligação entre LCD e Microcontrolador	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela comparativa dos protótipos	53
Tabela 2 – Tratamentos das Sementes	54
Tabela 3 – Acelerações centrípetas do equipamento	61
Tabela 4 – Validação da velocidade de rotação via encoder	63
Tabela 5 – Tabela de resultados descritivos - Altura 8h	64
Tabela 6 – Tabela de resultados descritivos - Pesos 8h	65
Tabela 7 – Tabela de resultados descritivos - Pesos (Médias) 8h	65
Tabela 8 – Tabela de resultados descritivos - Altura 22h	67
Tabela 9 – Tabela de resultados descritivos - Pesos 22h	68
Tabela 10 – Tabela de resultados descritivos - Pesos (Médias) 22h	68
Tabela 11 – Resultado ANOVA 8h	71
Tabela 12 – Resultado ANOVA 8h - Mediana	71
Tabela 13 – Testes Post Hoc Comprimento Parte Aérea 8h	71
Tabela 14 – Testes Post Hoc Comprimento Total 8h	72
Tabela 15 – Testes Post Hoc Pesos 8h	72
Tabela 16 – Resultado ANOVA 22h	73
Tabela 17 – Resultado ANOVA 22h - Mediana	73
Tabela 18 – Testes Post Hoc Comprimento Parte Aérea 22h	73
Tabela 19 – Testes Post Hoc Comprimento Total 22h	74
Tabela 20 – Testes Post Hoc Pesos 22h	74
Tabela 21 – Clinostato - Comprimento Parte Aérea	87
Tabela 22 – Clinostato - Comprimento Parte Aérea - Medição Final	88
Tabela 23 – Clinostato - Peso - Medição Final	89
Tabela 24 – Controle Seco - Comprimento Parte Aérea	90
Tabela 25 – Controle Seco - Comprimento Parte Aérea - Medição Final	91
Tabela 26 – Controle Seco - Peso - Medição Final	92
Tabela 27 – Controle Submerso - Comprimento Parte Aérea	93
Tabela 28 – Controle Submerso - Comprimento Parte Aérea - Medição Final	94
Tabela 29 – Controle Submerso - Peso - Medição Final	95
Tabela 30 – Homogeneidade de Variâncias Comprimento Aéreo 8h	96
Tabela 31 – ANOVA Comprimento Aéreo 8h	96
Tabela 32 – Descritivos Comprimento Aéreo 8h	96
Tabela 33 – Homogeneidade de Variâncias 8h Comprimento Aéreo - Mediana	96
Tabela 34 – ANOVA 8h Comprimento Aéreo - Mediana	96
Tabela 35 – Subconjuntos Homogêneos Comprimento Aéreo 8h - Mediana	97

Tabela 36 – Descritivos Comprimento Total 8h - Mediana	97
Tabela 37 – ANOVA Comprimento Total 8h - Mediana	97
Tabela 38 – Subconjuntos Homogêneos Comprimento Total 8h - Mediana	98
Tabela 39 – Homogeneidade de Variâncias Peso 8h - Mediana	98
Tabela 40 – ANOVA Peso 8h - Mediana	98
Tabela 41 – Descritivos Peso 8h - Mediana	99
Tabela 42 – Subconjuntos Homogêneos Peso 8h - Mediana	99
Tabela 43 – Clinostato - Comprimento Parte Aérea	101
Tabela 44 – Clinostato - Comprimento Parte Aérea - Medição Final	102
Tabela 45 – Clinostato - Peso - Medição Final	103
Tabela 46 – Controle Seco - Comprimento Parte Aérea	104
Tabela 47 – Controle Seco - Comprimento Parte Aérea - Medição Final	105
Tabela 48 – Controle Seco - Peso - Medição Final	106
Tabela 49 – Controle Submerso - Comprimento Parte Aérea	107
Tabela 50 – Controle Submerso - Comprimento Parte Aérea - Medição Final	108
Tabela 51 – Controle Submerso - Peso - Medição Final	109
Tabela 52 – Descritivos Comprimento Aéreo 22h	110
Tabela 53 – Homogeneidade de Variâncias 22h Comprimento Aéreo - Mediana	110
Tabela 54 – ANOVA 22h Comprimento Aéreo - Mediana	110
Tabela 55 – Subconjuntos Homogêneos Comprimento Aéreo 22h - Mediana	111
Tabela 56 – Descritivos Comprimento Total 22h - Mediana	111
Tabela 57 – ANOVA Comprimento Total 22h - Mediana	111
Tabela 58 – Homogeneidade de Variâncias Comprimento Total 22h - Mediana	112
Tabela 59 – Homogeneidade de Variâncias Peso 22h - Mediana	112
Tabela 60 – ANOVA Peso 22h - Mediana	112
Tabela 61 – Subconjuntos Homogêneos Comprimento Total 22h - Mediana	113
Tabela 62 – Descritivos Peso 22h - Mediana	113
Tabela 63 – Subconjuntos Homogêneos Peso 22h - Mediana	114
Tabela 64 – Leitura de Clorofila - Luminância	115
Tabela 65 – Leitura de Proteína - Dados Para Curva de Calibração	117
Tabela 66 – Leitura de Proteína - Curva de Calibração	117
Tabela 67 – Leitura de Proteína - Luminância e mg/gMF	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RPM	Rotações por minuto
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
MicroG	Centro de Microgravidade
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
RPM	Random Positioning Machine
ANOVA	Analysis of variance

LISTA DE SÍMBOLOS

Γ	Letra grega Gama
$^{\circ}C$	Graus Celsius
m	Metro
mm	Milímetro
V	Volts
A	Ampére
s	Segundos
m/s^2	Metros por segundo ao quadrado

SUMÁRIO

1	Introdução	25
1.1	Introdução	25
1.2	Motivação	26
1.3	Objetivos	26
2	Fundamentação Teórica	29
2.1	Gravidade	29
2.2	Microgravidade	29
2.3	Microgravidade na Terra	30
2.3.1	Voos Parabólicos	31
2.3.2	Torre de Queda Livre	32
2.3.3	Cama de simulação de microgravidade	32
2.3.4	Sistema de flutuabilidade neutra	33
2.3.5	Suspensão Magnética	33
2.3.6	Clinostato	34
2.3.6.1	Clinostato 2D	35
2.3.6.2	Máquina de Posição Randômica	35
2.4	Gravidade e Plantas	36
2.5	Milho	39
2.5.1	Germinação e emergência	40
2.5.2	Estágio V3	40
3	Metodologia	43
3.1	Melhorias no Equipamento	43
3.1.1	Clinostato 3D - Primeiro Protótipo	43
3.1.2	Clinostato 3D - Segundo Protótipo	45
3.1.2.1	Substituição de Componentes	45
3.1.2.2	Motores	46
3.1.2.3	Drivers	48
3.1.2.4	Microcontrolador	50
3.1.2.5	Controle de Velocidade	50
3.1.2.6	Teclado Numérico	51
3.1.2.7	Display LCD	52
3.1.2.8	Fontes de Alimentação	52
3.1.2.9	Engrenagens e Correias	52

3.2	Efeitos da microgravidade em sementes de milho	54
3.2.1	Tratamentos das sementes	54
3.2.2	Materiais e preparação para o plantio	55
3.2.3	Método de Medição - Parte Aérea	55
3.2.4	Método de Obtenção de Medidas - Raiz	56
3.2.5	Método de Obtenção de Medidas - Massa Fresca	57
3.2.6	Método de Obtenção de Medidas - Massa Seca	57
3.2.7	Método de Obtenção de Medidas - Clorofila	58
3.2.8	Método de Obtenção de Medidas - Proteínas	58
4	Resultados	61
4.1	Melhorias no Equipamento	61
4.1.1	Validação das Velocidades	62
4.2	Resultados Estatísticos do Experimento	63
4.2.1	Resultados Descritivos	63
4.2.1.1	Resultados Descritivos - Primeiro período de exposição	63
4.2.1.2	Resultados Descritivos - Segundo período de exposição	67
4.2.2	Análise Estatística	70
4.2.2.1	Resultados Estatísticos - Primeiro tempo de exposição	70
4.2.2.2	Resultados Estatísticos - Segundo tempo de exposição	72
5	Conclusão	77
	Referências	79
	Anexos	83
	ANEXO A Circuito de ligação LCD - Arduino	85
	ANEXO B Dados de Medições - 8 Horas	87
	B.1 Leituras	87
	B.2 Saída Estatística	96
	ANEXO C Dados de Medições - 22 Horas	101
	C.1 Leituras	101
	C.2 Saída Estatística	110
	ANEXO D Leituras de clorofila	115
	ANEXO E Leituras de Proteína	117

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

A corrida espacial teve sua origem na Alemanha, no início dos anos 1930, e continuou na segunda guerra mundial quando a Alemanha nazista iniciou pesquisas para produção de mísseis balísticos. Começando no início dos anos de 1930, os engenheiros alemães faziam experimentos com foguetes de combustível líquido, com o objetivo de um dia conseguirem alcançar altas altitudes e atravessar longas distâncias (CORNWELL, 2004). Em 4 de outubro de 1957, o lançamento do Sputnik I pela então União Soviética, abriu os olhos do mundo do quanto somos insignificantes em escala com o universo. Desde então a comunidade científica busca entender melhor o universo e como ele influencia a vida na terra.

A gravidade e a influência desta em organismos complexos tornou-se foco da ciência nas últimas décadas. Acabou ganhando força com os recentes avanços tecnológicos na área (ERDMANN et al., 1997).

Os corpos experimentam a gravidade de diferentes formas, podendo ora experimentar em maior intensidade (hipergravidade) ora em menor intensidade (microgravidade). Quando um corpo está sob efeito de microgravidade, significa que este está sofrendo um menor efeito da gravidade. Em estações espaciais a força gravitacional é reduzida, assim como em outros corpos celestes distantes da Terra. A microgravidade que atua no interior da nave ou estação espacial, se deve ao fato deste corpo estar em queda livre com relação à Terra. Ou seja, estações espaciais estão em movimento de queda livre, porém, devido à posição que se encontram e à velocidade que se movem, acompanham a curvatura da Terra e não chegam de fato a cair, apenas ficam orbitando em torno desta (WALL et al., 2010).

Os estudos com microgravidade ajudam a mostrar o que acontece com as pessoas e outros objetos no espaço. Já foi observado que a microgravidade podem produzir efeitos no corpo humano. Por exemplo, os ossos e os músculos atrofiam. É importante aprender a respeito da microgravidade e o que ela causa nos seres humanos e em outras formas de vida (WALL et al., 2010).

Na terra conseguimos obter microgravidade simulada de diversas maneiras, como por exemplo, através de um equipamento chamado clinostato. O clinostato, através de acelerações angulares, realiza acelerações (forças) com direções aleatórias que tendem a produzir uma resultante nula, ou próxima disso, simulando microgravidade. Neste trabalho contém o detalhamento da modificação de um clinostato 3D.

Utilizando-se do clinostato 3D modificado, foi realizado um estudo onde sementes de milho foram submetidas ao equipamento a fim de documentar os efeitos que a microgravidade pode causar em plantas. Serão apresentados níveis de proteína e clorofila, além do acompanhamento do crescimento das plantas geradas a partir destas sementes. Foi realizada uma avaliação da germinação dessas sementes e se esta foi afetada. O experimento também abordou a análise das plantas após 20 dias, buscando-se avaliar se algum efeito da microgravidade simulada estende-se mesmo após esta estar em gravidade normal. A espécie foi escolhida considerando sua elevada participação no mercado nacional e internacional e a vasta utilização na alimentação humana.

1.2 MOTIVAÇÃO

Os recentes avanços da tecnologia levaram o ser humano a crer que no futuro será capaz de ficar longos períodos no espaço. Para que isso se torne viável, várias frentes de pesquisa se formaram para estudar os efeitos da microgravidade em tecidos animais e vegetais. Diante dessa nova necessidade, o cultivo de plantas no espaço tornou-se um desafio para a ciência aeroespacial. Em longas expedições, a cultura de vegetais e sementes serviria de alimento e também agiria na reciclagem de dióxido de carbono e outras excreções humanas ([HERSHEY, 2005](#)).

Estudar e desenvolver um equipamento capaz de simular microgravidade e ainda observar os efeitos desta em plantas, foi o maior fator motivacional deste trabalho. Outros fatores como inovação e possibilidade de realizar pesquisa de ponta, também foram muito importantes.

Uma vez reconhecido por estudos científicos que a gravidade pode alterar a forma como a planta se desenvolve, metabolicamente ([WANG et al., 2006](#)) e fisiologicamente ([HOSON et al., 1999](#)), esse trabalho buscou avaliar se esses efeitos causados pela microgravidade ainda perduram, mesmo após estarem em ambientes de gravidade normal. A pesquisa realizada com plantas se deve ao fato da necessidade crescente de alimentos. Sendo assim, a busca por alternativas e métodos mais eficientes de produção torna-se uma área importante de estudo.

Outro fator motivacional foi a oportunidade de aprimorar um equipamento de grande valor científico e tecnológico. Facilitar o uso deste e torná-lo mais confiável tem como objetivo incentivar ainda mais pesquisas nessa área.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral a realização de um estudo visando identificar possíveis efeitos no crescimento de plantas que tiveram suas sementes rotacionadas em

um clinostato por um período de tempo antes de serem plantadas em solo com gravidade normal. Buscamos entender se há algum tipo de alteração na planta caso ela tenha iniciado seu desenvolvimento em microgravidade e posteriormente plantada em gravidade normal. O experimento baseou-se em estudos realizados por diversas fontes científicas.

A modificação de um clinostato 3D é o principal objetivo do trabalho. Foi implementado um controle de velocidade com precisão de 0.1 RPM, utilizando microcontroladores arduino e motores de passo, além disso foi realizada uma reestruturação mecânica do equipamento. A Figura 1 demonstra o clinostato antes da modificação. A Figura 2 demonstra o clinostato depois da modificação.

Figura 1: Clinostato 3D antes da modificação

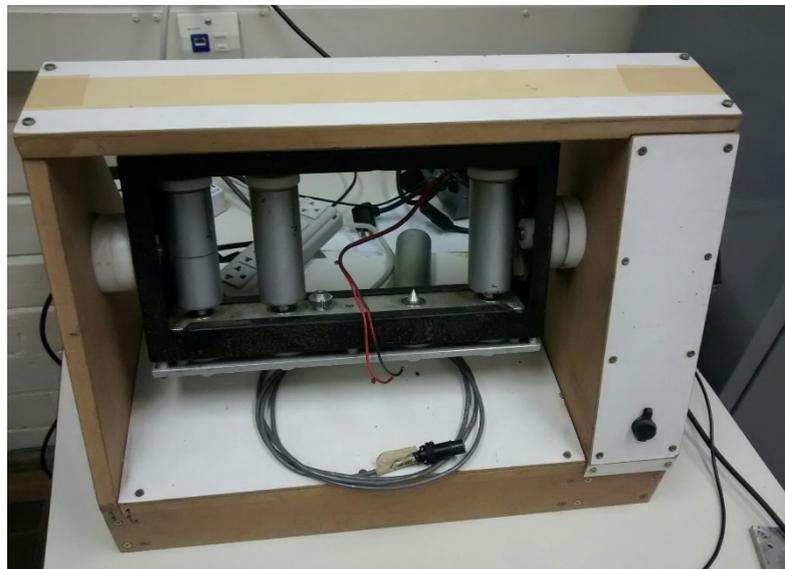
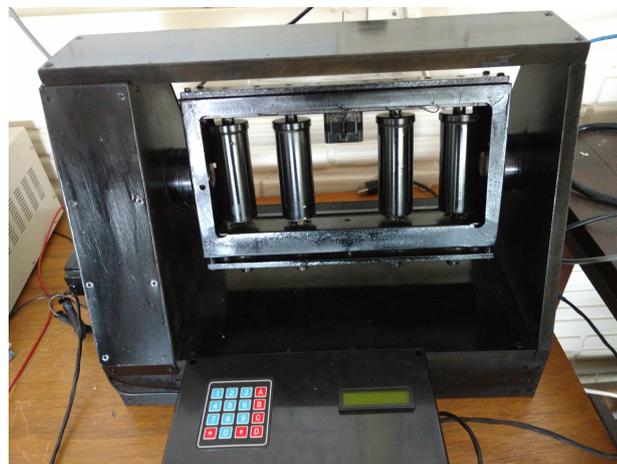


Figura 2: Clinostato 3D depois da modificação. A imagem mostra o mesmo equipamento, agora com um gabinete metálico escuro e uma interface de controle externa com teclado e tela LCD.



5 CONCLUSÃO

Essa dissertação teve como principal objetivo modificar e aprimorar um equipamento capaz de simular microgravidade. Como segundo foco, realizou um experimento onde buscou-se analisar os efeitos que a microgravidade simulada pode causar no crescimento inicial do milho. Além disso, uma pesquisa bibliográfica apresentou a necessidade e a importância de pesquisas aeroespaciais e de equipamentos que facilitem a obtenção de dados em ambientes de microgravidade.

O objetivo de aprimorar o equipamento previamente existente foi cumprido. Agora, com a adição de um microcontrolador o equipamento é passível de modificações no controle e manipulação de componentes. Com os novos motores de passo, foi possível obter maior precisão na manipulação das velocidades de giro e as mesmas executam um descolamento mais preciso.

A validação do equipamento através do experimento realizado permitiu observar mudanças significativas nas plantas geradas pelas sementes que passaram pelo clinostato modificado. Com os resultados, observamos que a microgravidade simulada favorece o crescimento de plantas, uma vez que demonstraram efeitos diretos nas que passaram pelo equipamento. Uma comparação com o protótipo anterior não foi possível de ser realizada, uma vez que o mesmo encontrava-se avariado antes mesmo do início do desenvolvimento deste trabalho.

Os resultados foram estatisticamente significativos em plantas de maior porte e massa, como é possível observar na Figura 37. Em plantas de menor comprimento não foi obtida diferença estatística. Tendo como foco o grupo de maior comprimento, foi possível observar resultado estatístico. Na figura, fica evidente a diferença de tamanho e volume das plantas obtidas através de sementes que sofreram ação da microgravidade simulada.

Presumimos que dentre os tempos de estudo, 8 horas e 22 horas, o tempo que apresentou melhor resultado foi o de 22 horas, apresentando significância estatística inferior a 0,0001 ($p < 0,0001$). Com isso, considerando os dados obtidos, o tempo que as sementes permaneceram no interior do equipamento tornou-se um fator que influencia no crescimento.

Logo, considerando os dados obtidos no experimento, a microgravidade simulada é capaz de alterar sementes de milho. Através de algum mecanismo ainda desconhecido, as plantas provenientes de sementes que sofreram ação de microgravidade simulada, atingiram maior massa e comprimento. Há uma hipótese de que a água também influencie no processo, uma vez que o grupo que fora imerso pelo mesmo período de tempo, apresentou resultados melhores do que o grupo que não sofreu nenhuma imersão ou intervenção

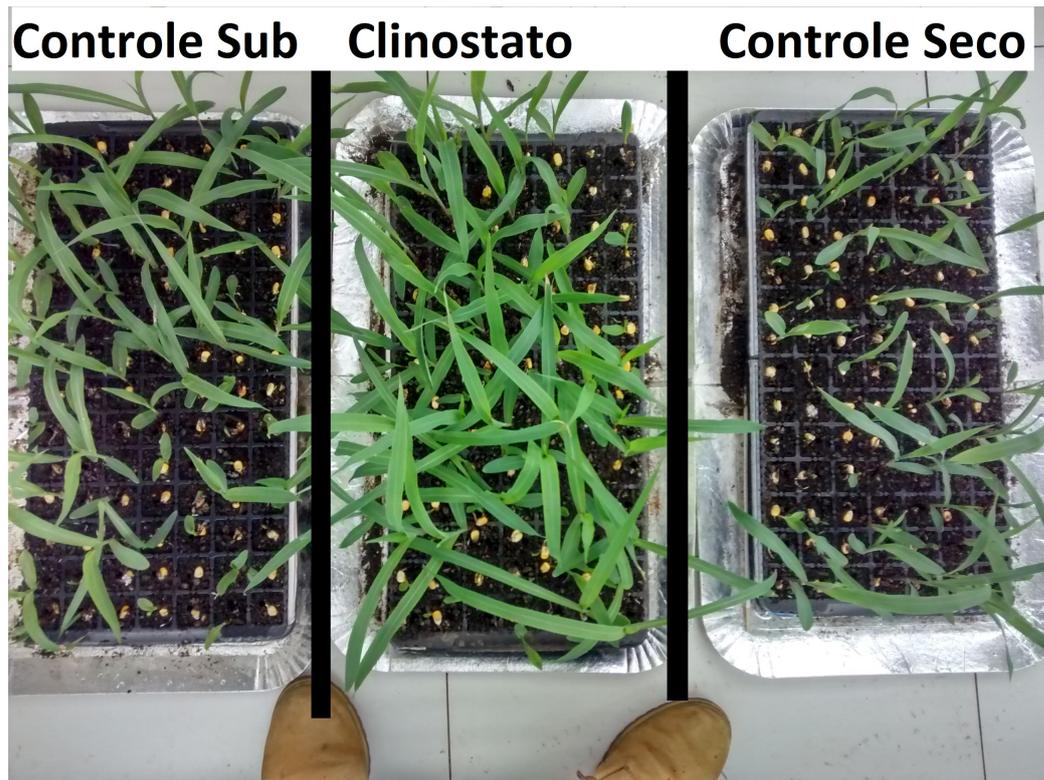


Figura 37: Comparativo dos grupos de plantas

inicial.

Como trabalhos futuros, buscaremos realizar mais experimentos, com diferentes espécies de plantas e também com espécies animais, a fim de obter dados suficientes que permitam chegar à conclusões mais precisas sobre como a microgravidade simulada altera o desenvolvimento e crescimento das diferentes formas de vida da Terra.

REFERÊNCIAS

- AUSTIN, D. Generate stepper-motor speed profiles in real time. *Article in Embedded Systems Programming, January*, 2005. Citado na página 50.
- BELLER, G. et al. Wise-2005: Bed-rest induced changes in bone mineral density in women during 60days simulated microgravity. *Bone*, Elsevier, v. 49, n. 4, p. 858–866, 2011. Citado na página 33.
- BORST, A.; LOON, J. J. van. Technology and developments for the random positioning machine, rpm. *Microgravity science and technology*, Springer, v. 21, n. 4, p. 287–292, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 36.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, Elsevier, v. 72, n. 1, p. 248–254, 1976. Citado na página 58.
- CENTIS-AUBAY, S. et al. Changes in gravitational forces induce modifications of gene expression in a. thaliana seedlings. *Planta*, Springer, v. 218, n. 2, p. 179–185, 2003. Citado na página 39.
- COGLI, M. The fast rotating clinostat: a history of its use in gravitational biology and a comparison of ground-based and flight experiment results. *Gravitational and Space Research*, v. 5, n. 2, 2007. Citado na página 34.
- CORNWELL, J. *Hitler's scientists: Science, war, and the devil's pact*. [S.l.]: Penguin, 2004. Citado na página 25.
- DEDOLPH, R.; DIPERT, M. The physical basis of gravity stimulus nullification by clinostat rotation. *Plant physiology*, Am Soc Plant Biol, v. 47, n. 6, p. 756–764, 1971. Citado na página 34.
- DURKIN, R. *What is Neutral Buoyancy*. 2015. Disponível em: <<http://dx12.jsc.nasa.gov/about/whatIsNB.shtml?link=2>>. Citado na página 33.
- EPPLEY, R. W. Chlorophyll, photosynthesis and new production in the southern california bight. *Progress in oceanography*, Elsevier, v. 30, n. 1, p. 117–150, 1992. Citado na página 66.
- ERDMANN, N. et al. Effect of gravity changes on the cyanobacterium synechocystis sp. pcc 6803. *Current microbiology*, Springer, v. 35, n. 6, p. 348–355, 1997. Citado na página 25.
- FIGUEIREDO, J. M. Do we really need the weight force? *arXiv preprint physics/0506100*, 2005. Citado na página 30.
- GUIMARÃES, R. C.; CABRAL, J. A. S. Estatística. *Centro*, v. 29, p. 9, 1997. Citado na página 70.

- HÄDER, D.; HEMMERSBACH, R.; LEBERT, M. *Gravity and the Behavior of Unicellular Organisms*. Cambridge University Press, 2005. (Developmental and Cell Biology Series). ISBN 9780521820523. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=EQvzwpAWEy0C>>. Citado na página 34.
- HEMMERSBACH, R. et al. Comparative studies on gravisensitive protists on ground (2d and 3d clinostats) and in microgravity. *Microgravity-Science and Technology*, Springer, v. 18, n. 3-4, p. 257–259, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- HERSHEY, D. R. Time for a plant clinostat: Effects of light and gravity on plants. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, Taylor & Francis, v. 42, n. 1, p. 30–35, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 37.
- HOSON, T. Growth and morphogenesis of plant seedlings in space: Sts-95 space shuttle experiments. *Journal of plant research*, Springer, v. 112, n. 4, p. 475–475, 1999. Citado na página 37.
- HOSON, T. et al. Changes in plant growth processes under microgravity conditions simulated by a three-dimensional clinostat. *The botanical magazine= Shokubutsu-gaku-zasshi*, Springer, v. 105, n. 1, p. 53–70, 1992. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- HOSON, T. et al. Morphogenesis of rice and arabidopsis seedlings in space. *Journal of plant research*, Springer, v. 112, n. 4, p. 477–486, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 34.
- IBM Corp. *IBM SPSS Statistics for Windows*. Disponível em: <<http://www.ibm.com>>. Citado na página 70.
- ISHII, Y. et al. Plant growth processes in arabidopsis under microgravity conditions simulated by a clinostat. *Biological Sciences in Space*, Japan Aerospace Biological Sciences, v. 10, n. 1, p. 3–7, 1996. Citado na página 30.
- JAGTAP, S. S.; DHUMAL, K. N.; VIDYASAGAR, P. B. Effects of slow clinorotation on growth and yield in field grown rice. *Gravitational and Space Research*, v. 25, n. 1, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 39.
- KLAUS, D. M. Clinostats and bioreactors. *Gravitational and Space Research*, v. 14, n. 2, 2007. Citado na página 34.
- KOLB, G. P. Determinação espectrofotométrica da clorofila contida nas folhas de um conjunto de plantas nativas. *Tese (Livre-Docência) - PUCRS 1976*, jan 1976. Citado na página 58.
- KRAFT, T. F.; LOON, J. J. van; KISS, J. Z. Plastid position in arabidopsis columella cells is similar in microgravity and on a random-positioning machine. *Planta*, Springer, v. 211, n. 3, p. 415–422, 2000. Citado na página 36.
- LAWRENSON, P. *Stepping Motors: a Guide to Modern Theory and Practice*. [S.l.]: IET, 1983. 659 p. Citado na página 47.
- LIU, Y. et al. Magnetic levitation of large water droplets and mice. *Advances in Space Research*, Elsevier, v. 45, n. 1, p. 208–213, 2010. Citado na página 33.

- MAGALHÃES, P. C. Fisiologia do milho. *CEP*, v. 35701, p. 970, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 41.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. *Fisiologia da produção de milho*. [S.l.]: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. Citado 4 vezes nas páginas 15, 39, 40 e 41.
- MARTINELLI, L. K. B. Aperfeiçoamento e validação do clinostato 3d e seu uso no estudo de células do sistema imune humano. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2007. Citado na página 30.
- MIYAMOTO, K. et al. Growth and development in arabidopsis thaliana through an entire life cycle under simulated microgravity conditions on a clinostat. *Journal of plant research*, Springer, v. 112, n. 4, p. 413–418, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, Wiley Online Library, v. 15, n. 3, p. 473–497, 1962. Citado na página 55.
- NETO, J. B. *Mecânica Newtoniana, Lgrangiana e Hamiltoniana*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2004. Citado na página 30.
- PLATTS, S. H. et al. Cardiovascular adaptations to long-duration head-down bed rest. *Aviation, space, and environmental medicine*, Aerospace Medical Association, v. 80, n. Supplement 1, p. A29–A36, 2009. Citado na página 33.
- RAUF, A. *How Do Roots Grow When the Direction of Gravity Changes?* 2015. Disponível em: <<http://paksc.org/pk/science-experiments/biology-experiments-/243-geotropism-in-radicles-biology-experiment/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 35.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. *Fundamentals of physics*. [S.l.]: John Wiley, 1988. Citado 4 vezes nas páginas 15, 29, 30 e 31.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. *Informações agronômicas*, v. 103, p. 1–19, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 15, 39 e 41.
- RUSSOMANO, T.; DALMARCO, G.; FALCÃO, F. P. The effects of hypergravity and microgravity on biomedical experiments. *Synthesis lectures on biomedical engineering*, Morgan & Claypool Publishers, v. 3, n. 1, p. 1–68, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 37.
- SACK, F. D. Plant gravity sensing. *Int Rev Cytol*, v. 127, p. 193–252, 1991. Citado na página 37.
- SHIMAZU, T. et al. Growth and development in higher plants under simulated microgravity conditions on a 3-dimensional clinostat. *Advances in Space Research*, Elsevier, v. 27, n. 5, p. 995–1000, 2001. Citado na página 40.
- VICKERS, Z. M. et al. Simulated microgravity [bed rest] has little influence on taste, odor or trigeminal sensitivity. *Journal of sensory studies*, Wiley Online Library, v. 16, n. 1, p. 23–32, 2001. Citado na página 33.
- WALL, J. et al. What is microgravity? *image*, 2010. Citado na página 25.

- WANG, H. et al. A proteomic approach to analysing responses of arabidopsis thaliana callus cells to clinostat rotation. *Journal of experimental botany*, Soc Experiment Biol, v. 57, n. 4, p. 827–835, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 39.
- WEISMANN, M. Fases de desenvolvimento da cultura do milho. *Tecnologia e Produção–Culturas: safrinha e inverno*, 2007. Citado 4 vezes nas páginas 15, 39, 40 e 72.
- WUEST, S. L. et al. Simulated microgravity: Critical review on the use of random positioning machines for mammalian cell culture. *BioMed Research International*, Hindawi Publishing Corporation, v. 2015, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.
- ZARM.UNI-BREMEN. *ZARM Drop Tower*. 2015. Disponível em: <<https://www.zarm.uni-bremen.de/drop-tower.html?L=>>>. Citado na página 32.
- ZEN, R. *Arduino library for 2-wire or 3-wire connection to HD44780-compatible LCD's via shiftregisters*. 2015. Disponível em: <<https://code.google.com/p/arduinoshiftreglcd/Schematics>>. Citado na página 52.