



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

DEPARTAMENTO DE PEDAGOGIA E EDUCAÇÃO

**O ENSINO E A APRENDIZAGEM DA FÍSICA EM ENGENHARIA:**

UM ESTUDO DE CASO NO ENSINO POLITÉCNICO

JOÃO MANUEL VINHAS RAMOS MARQUES

Tese apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de  
Doutor em Ciências da Educação

*ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR DOUTOR ANTÓNIO JOSÉ DOS SANTOS NETO*

ÉVORA/2011

## AGRADECIMENTOS

Desejo, desta forma, exprimir a minha sincera gratidão a todas as pessoas que, de uma ou outra forma, contribuíram para a realização deste trabalho de investigação. De modo especial, gostaria de agradecer:

- Ao Professor Doutor António Neto, pelo apoio científico e preciosas sugestões e críticas, pela confiança depositada e pela simpatia e disponibilidade que sempre me tem dispensado.
- Aos alunos intervenientes neste projecto.
- A todos os colegas do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- A todos os meus familiares e amigos, com destaque para a Manuela, Rita e João Nuno, pela coragem e incentivo que sempre me transmitiram, sobretudo nos momentos mais difíceis.

*A todos os meus alunos*

## RESUMO

Actualmente a maioria dos alunos que iniciam os seus percursos nos cursos de Engenharia provêm de diversas áreas de formação, com distintos níveis de conhecimentos em Física e Matemática e com reduzido contacto com a vertente experimental.

Como resultado da implementação do modelo de Bolonha no Ensino Superior, os alunos devem assumir um papel importante no processo de ensino e de aprendizagem, o que se revela ser uma situação complexa para uma grande maioria.

A experiência pessoal da maior parte dos estudantes levou-os a construir sólidos modelos mentais, de natureza espontânea, os quais, muitas vezes, se assumem como poderosas explicações, alternativas às concepções científicas. A investigação em didáctica das ciências tem recorrentemente evidenciado a enorme dificuldade de modificar, substancialmente, os modelos e formas de pensar espontâneos, típicos do pensamento de senso comum.

O trabalho de investigação desenvolvido baseou-se numa metodologia de investigação de natureza qualitativa, assumindo-se como um estudo híbrido, misto de estudo de caso com investigação-acção. A questão central de investigação prendeu-se com a identificação e caracterização de diversos factores que podem condicionar o desenvolvimento de competências em Física em cursos de Engenharia. Procurou-se provocar a mudança de comportamentos através de distintas formas de intervenção, nomeadamente com a optimização de estratégias implementadas no processo de ensino e de aprendizagem, especificamente no domínio da Mecânica Newtoniana. Estas envolveram, em particular, os materiais didácticos utilizados, a organização estrutural do trabalho dos alunos, a resolução de problemas e a componente laboratorial, tendo em mente promover a aquisição de competências fundamentais na formação e desempenho do futuro Engenheiro.

**Palavras-chave:** Ensino Superior, Engenharia, Educação em Engenharia, Física, Estratégias Didácticas, Resolução de Problemas, Trabalho Laboratorial, Trabalho de Casa.

# **TEACHING AND LEARNING PHYSICS IN ENGINEERING: A CASE STUDY IN A POLYTECHNIC INSTITUTION**

## **ABSTRACT**

Currently the majority of students who start their courses in Engineering come from different areas of training, with different levels of knowledge in Physics and Mathematics and few contacts with the experimental domain.

As a result of the implementation of Bologna's model in higher education, students should play an important role in teaching and learning process, which is a very complex situation for a large number of them.

Most students' experience led them to build solid mental models of spontaneous nature, which often assumed to be powerful explanations, alternative to scientific conceptions. Research on science education has repeatedly shown the enormous difficulty of change these models and spontaneous ways of thinking, typical of common sense.

This research work based in a qualitative methodology was developed as a mix between a case study and action-research. Main research question was related with the identification and characterization of several factors that can influence Engineering students' skills developing in Physics. The goal was to stimulate changing behaviors through distinct forms of action, like the optimization of implemented strategies in teaching and learning process, specifically in Newtonian Mechanics. These strategies were among others: new didactic materials, students' work organization, problem-solving and lab training, bearing in mind fundamental skills' acquisition in the formation and performance of future engineers.

**Keywords:** Higher Education, Engineering, Engineering Education, Physics, Didactic Strategies, Problem-Solving, Lab Work, Homework.

# ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| <b>Índice de Quadros</b> .....   | xii  |
| <b>Índice de Figuras</b> .....   | xiii |
| <b>Capítulo 1.Introdução</b> .....                                     | 1    |
| 1.1. Contexto e justificação do tema.....                              | 6    |
| 1.2. Questões de investigação e opções metodológicas.....              | 15   |
| 1.3. Objectivos do estudo .....  | 18   |
| 1.4 .Estrutura do relatório de tese .....                              | 20   |
| <b>Capítulo 2.Enquadramento teórico</b> .....                          | 23   |
| 2.1. Educação em Ciências – os novos desafios no Ensino Superior ..... | 25   |
| 2.1.1 .Caminhos: do ensino básico ao ensino superior .....             | 30   |
| 2.1.2. O insucesso no ensino superior .....                            | 35   |
| 2.1.3. O ensino superior num mundo em mudança .....                    | 36   |
| 2.1.4. Um olhar sobre o passado.....                                   | 40   |
| 2.1.5. Um novo paradigma educacional.....                              | 47   |
| 2.2. O Ensino de Física – novas estratégias.....                       | 69   |
| 2.2.1. Resolução de problemas – actividade fundamental.....            | 74   |
| 2.2.2.Trabalho fora do espaço aula – um incentivo à aprendizagem ..... | 91   |

|  |            |
|--|------------|
| 2.2.3. A importância do trabalho laboratorial/experimental - ontem e hoje .....          | 100        |
| 2.2.4. As tecnologias de informação e comunicação – a sala de aula aberta ao mundo.....  | 116        |
| 2.3.O Ensino de Física em Engenharia.....  | 130        |
| 2.3.1.O insucesso do ensino da Física no ensino Superior.....                            | 131        |
| 2.3.2. Contributos para uma abordagem de sucesso no ensino da Física em Engenharia ..... | 138        |
| 2.3.3. Actividades a realizar no âmbito de uma curricular de Física Introdutória ....    | 146        |
| 2.3.3.1. As concepções iniciais dos alunos.....  | 146        |
| 2.3.3.2.O ensino tradicional de Física .....   | 148        |
| 2.3.3.3.A necessidade de mudança .....   | 149        |
| As aulas integradas .....  | 150        |
| As aulas laboratoriais .....   | 152        |
| O trabalho de casa .....   | 153        |
| Sessões de apoio tutorial .....  | 154        |
| Formas de contacto .....   | 155        |
| Avaliação .....  | 155        |
| <b>Capítulo 3. Metodologia.....</b>  | <b>157</b> |
| 3.1. Opções metodológicas.....   | 159        |
| 3.2. Questões de investigação .....  | 172        |

|   |     |
|---|-----|
| 3.3.Contexto em que foi desenvolvido o estudo.....                    | 174 |
| 3.3.1. Participantes.....   | 174 |
| A Instituição.....  | 175 |
| Os turnos de alunos.....  | 178 |
| 3.3.2. A implementação do projecto.....                               | 192 |
| 3.4. As componentes do trabalho em Mecânica I .....                   | 210 |
| 3.4.1. Aulas teóricas e teórico-práticas .....                        | 214 |
| Utilização de diapositivos .....                                      | 216 |
| Resolução de exercícios e problemas .....                             | 217 |
| 3.4.2. Orientação tutorial .....                                      | 221 |
| A utilização do correio electrónico .....                             | 222 |
| 3.4.3. Actividades orientadas pelo docente .....                      | 223 |
| 3.4.4. A componente laboratorial .....                                | 224 |
| 3.4.4.1. A elaboração de um projecto .....                            | 228 |
| 3.4.4.2. O desempenho experimental .....                              | 230 |
| 3.4.4.3.Relatórios .....  | 231 |
| 3.4.4.4.Apresentação e discussão públicas dos trabalhos experimentais | 232 |
| 3.4.5. A avaliação dos alunos .....                                   | 233 |
| 3.5. Instrumentos de recolha de dados.....                            | 235 |
| 3.5.1. Inquérito por questionário.....                                | 238 |



|   |            |
|---|------------|
| 3.5.2. Registo diário.....  | 238        |
| 3.5.3. Realização de pré – testes.....                                    | 239        |
| 3.5.4. Trabalhos efectuados em casa.....                                  | 240        |
| 3.5.5. Debates e esclarecimento de dúvidas nas sessões tutórias.....      | 241        |
| 3.5.6. Realização de mini – testes.....                                   | 242        |
| 3.5.7. Projectos em grupo para a componente experimental.....             | 243        |
| 3.5.8. Discussão em grupo dos diversos projectos.....                     | 244        |
| 3.5.9. Execução experimental dos projectos.....                           | 244        |
| 3.5.10. Relatórios.....   | 245        |
| 3.5.11. Apresentação e discussão pública dos trabalhos experimentais..... | 246        |
| 3.5.12. Mensagens de correio electrónico.....                             | 246        |
| 3.5.13. Entrevista estruturada individual.....                            | 247        |
| 3.5.14. Provas de avaliação escrita .....                                 | 248        |
| 3.6. Calendarização das diversas actividades.....                         | 249        |
| 3.7. Tratamento dos dados.....  | 250        |
| <b>Capítulo 4. Apresentação e análise dos resultados.....</b>             | <b>253</b> |
| 4.1. A situação inicial dos alunos.....                                   | 256        |
| 4.1.1. Pré – testes.....  | 257        |
| Pré – teste sobre Medidas físicas.....                                    | 258        |
| Pré – teste sobre Cinemática do ponto material.....                       | 261        |

|   |            |
|---|------------|
| Pré – teste sobre Dinâmica do ponto material.....       | 264        |
| Pré – teste sobre Impulso e momento linear.....         | 269        |
| Pré – teste sobre Trabalho e energia.....               | 271        |
| Pré – teste sobre Cinemática e dinâmica de rotação..... | 274        |
| 4.2. A intervenção.....                                 | 280        |
| Sessões de orientação tutória .....                     | 332        |
| Utilização do correio electrónico .....                 | 335        |
| 4.3. A componente experimental.....                     | 336        |
| 4.3.1. A análise dos projectos experimentais.....       | 336        |
| 4.4. A avaliação dos alunos.....                        | 355        |
| 4.5. A análise das entrevistas .....                    | 361        |
| <b>Capítulo 5. Conclusões.....</b>                      | <b>367</b> |
| 5.1. Principais conclusões.....                         | 369        |
| 5.2. Contributos do estudo.....                         | 383        |
| 5.3. Limitações do estudo.....                          | 385        |
| 5.4. Intervenções pedagógicas futuras.....              | 386        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                | <b>389</b> |
| <b>Anexos.....</b>                                      | <b>417</b> |
| Anexo 1. CD - ROM                                       |            |
| Anexo 2. Programa de Mecânica I.....                    | 419        |

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 3. Inquéritos aos alunos.....                    | 424 |
| Anexo 4. Pré – testes.....                             | 426 |
| Anexo 5. Problemas enviados como trabalho de casa..... | 438 |
| Anexo 6. Exemplo de mini – teste.....                  | 447 |
| Anexo 7. Provas de avaliação de Mecânica I.....        | 449 |
| Anexo 8. Guião de entrevista.....                      | 458 |
| Anexo 9. Protocolo da entrevista A1.....               | 462 |
| Anexo 10. Quadros gerais de comparação de dados.....   | 465 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 1 – <i>Resultados dos exames nacionais do Ensino Secundário</i> .....                         | 34  |
| Quadro 2 – <i>Funções formativas das TIC</i> .....   | 122 |
| Quadro 3 – <i>Estudos de caso</i> .....  | 167 |
| Quadro 4 – <i>Componentes de trabalho da unidade curricular de Mecânica I</i> .....                  | 213 |
| Quadro 5 – <i>Avaliação na unidade curricular de Mecânica I</i> .....                                | 234 |
| Quadro 6 – <i>Fases do projecto e instrumentos utilizados</i> .....                                  | 237 |
| Quadro 7 – <i>Períodos e actividades desenvolvidas</i> .....   | 249 |
| Quadro 8 – <i>Percentagens médias de respostas correctas por pré-teste nos dois turnos</i> .....     | 279 |
| Quadro 9 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 1, nos dois turnos</i> .....  | 296 |
| Quadro 10 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 2, nos dois turnos</i> ..... | 300 |
| Quadro 11 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 3, nos dois turnos</i> ..... | 302 |
| Quadro 12 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 4, nos dois turnos</i> ..... | 304 |
| Quadro 13 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 5, nos dois turnos</i> ..... | 312 |
| Quadro 14 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 6, nos dois turnos</i> ..... | 314 |
| Quadro 15 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 7, nos dois turnos</i> ..... | 315 |
| Quadro 16 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 8, nos dois turnos</i> ..... | 320 |
| Quadro 17 – <i>Percentagem de resoluções correctas e incorrectas do TPC 9, nos dois turnos</i> ..... | 324 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 – <i>Engenheiros na população activa entre os 24 e 64 anos</i> .....   | 38  |
| Figura 2 – <i>Modelo de aprendizagem do construtivismo contextual</i> .....   | 144 |
| Figura 3 – <i>Ingresso dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita)</i> ....   | 179 |
| Figura 4 – <i>Opções dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita)</i> ....   | 180 |
| Figura 5 – <i>Alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita) por sexo e idade</i> .....  | 181 |
| Figura 6 – <i>Proveniência geográfica dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita)</i> .....   | 181 |
| Figura 7 – <i>Nível de escolaridade em Física dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita)</i> .....   | 182 |
| Figura 8 – <i>Temas de Física mais interessantes para os alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita)</i> .....  | 183 |
| Figura 9 – <i>Aulas de Física anteriormente leccionadas aos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); T – aulas teóricas, TP – aulas teórico-práticas, P – aulas práticas</i> .....                            | 184 |
| Figura 10 – <i>Aulas consideradas mais importantes pelos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); T – aulas teóricas, TP – aulas teórico-práticas, P – aulas práticas, Nr – não respondeu</i> .....           | 184 |
| Figura 11 – <i>Opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita) sobre a sua preparação anterior</i> .....   | 185 |
| Figura 12 – <i>A Física baseada na compreensão - opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); Ct – concordo totalmente, C – concordo, D – discordo, Dt – discordo totalmente</i> .....               | 186 |
| Figura 13 – <i>A Física e a capacidade do aluno - opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); Ct – concordo totalmente, C – concordo, D – discordo, Dt – discordo totalmente</i> .....              | 186 |
| Figura 14 – <i>A Física como ferramenta - opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); Ct – concordo totalmente, C – concordo, D – discordo, Dt – discordo totalmente</i> .....                      | 187 |
| Figura 15 – <i>A Física e seus objectivos - opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); Ct – concordo totalmente, C – concordo, D – discordo, Dt – discordo totalmente, Nr- não respondeu</i> ..... | 188 |
| Figura 16 – <i>Praticar em Física - opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); Ct – concordo totalmente, C – concordo, D – discordo, Dt – discordo totalmente</i> .....                            | 188 |
| Figura 17 - <i>Mecanizar em Física - opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); Ct – concordo totalmente, C – concordo, D – discordo, Dt – discordo totalmente</i> .....                           | 189 |
| Figura 18 – <i>Memorizar fórmulas em Física - opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); Ct – concordo totalmente, C – concordo, D – discordo, Dt – discordo totalmente</i> .....                  | 190 |
| Figura 19 – <i>O estudo em Física - opiniões dos alunos do 1º turno (esquerda) e do 2º turno (direita); Ct – concordo totalmente, C – concordo, D – discordo, Dt – discordo totalmente</i> .....                            | 191 |
| Figura 20 – <i>Exemplo de montagem experimental</i> .....   | 203 |
| Figura 21 – <i>Evolução da percentagem de alunos aprovados, em relação ao número total de alunos inscritos em Física</i> .....  | 209 |
| Figura 22 – <i>Evolução da percentagem de alunos avaliados, em relação ao número total de alunos inscritos em Física</i> .....  | 210 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 23 – <i>Percentagens de respostas correctas no pré-teste Medidas físicas.</i>  | 258 |
| Figura 24 – <i>Percentagens de respostas correctas no pré-teste Cinemática do ponto material.....</i>   | 261 |
| Figura 25 – <i>Gráfico da questão 4 do Pré-teste Cinemática do ponto material...</i>  | 262 |
| Figura 26 – <i>Percentagens de respostas correctas no pré-teste Dinâmica do ponto material .....</i>  | 265 |
| Figura 27 – <i>Gráfico da questão 2 do Pré-teste Dinâmica do ponto material.....</i>  | 266 |
| Figura 28 – <i>Esquema relativo à questão 3 do Pré-teste Dinâmica do ponto material .....</i>   | 266 |
| Figura 29 – <i>Esquema relativo à questão 6 do Pré-teste Dinâmica do ponto material .....</i>   | 267 |
| Figura 30 – <i>Percentagens de respostas correctas no pré-teste Impulso e momento linear .....</i>  | 269 |
| Figura 31 – <i>Questão 5 do Pré-teste Impulso e momento linear.....</i>   | 270 |
| Figura 32 – <i>Percentagens de respostas correctas no pré-teste Trabalho e energia .....</i>  | 272 |
| Figura 33 – <i>Questão 6 do Pré-teste Trabalho e energia .....</i>  | 273 |
| Figura 34 – <i>Percentagens de respostas correctas no pré-teste Cinemática e dinâmica da rotação .....</i>  | 274 |
| Figura 35 – <i>Diapositivo ilustrando uma questão sobre notação científica.....</i>   | 282 |
| Figura 36 – <i>Sequência de imagens de uma animação respeitante aos conceitos deslocamento escalar e espaço percorrido.....</i>                                 | 284 |
| Figura 37 – <i>Sequência de imagens de uma animação respeitante aos conceitos de velocidade escalar média e velocidade escalar instantânea.....</i>             | 285 |
| Figura 38 – <i>Duas imagens de uma animação destinada a apresentar o cálculo da velocidade em determinado instante, a partir de um gráfico posição-tempo...</i> | 287 |
| Figura 39 – <i>Simulação em diapositivo destinada ao estudo de diagramas horários .....</i>   | 288 |
| Figura 40 – <i>Diapositivo apresentando a relação entre a área representada e o deslocamento.....</i>   | 289 |
| Figura 41 – <i>Imagens de animação disponível na Internet e destinada a ilustrar o conceito de integral .....</i>   | 291 |
| Figura 42 – <i>Diapositivo relativo ao lançamento vertical de um projectil .....</i>  | 293 |
| Figura 43 – <i>Sequência de imagens de uma animação ilustrativa do encontro entre dois corpos em movimento.....</i>   | 299 |
| Figura 44 – <i>Imagem retirada de um vídeo projectado aos alunos sobre o funcionamento de uma britadeira e o movimento de projectil da brita.....</i>           | 301 |
| Figura 45 – <i>Problema proposto na aula sobre o movimento circular.....</i>  | 303 |
| Figura 46 – <i>Diapositivos que apresentam vídeos analisados à luz da 1ª lei de Newton .....</i>  | 307 |
| Figura 47 – <i>Imagens retiradas de vídeos inseridos em diapositivos de apresentação Power Point, tendo por tema a 2ª lei de Newton .....</i>                   | 307 |
| Figura 48 – <i>A 3ª lei de Newton - imagens obtidas a partir de vídeos inseridos em apresentação Power Point .....</i>  | 308 |
| Figura 49 – <i>A construção de um diagrama de corpo livre em apresentação Power Point .....</i>   | 310 |
| Figura 50 – <i>Problema envolvendo conceitos relacionados com o atrito.....</i>   | 311 |
| Figura 51 – <i>Diapositivo integrante de apresentação Power Point tendo por objectivo clarificar o conceito de momento linear .....</i>                         | 317 |
| Figura 52 – <i>Diapositivo integrante de apresentação Power Point tendo por</i>   |     |

|   |     |
|---|-----|
| <i>objectivo clarificar os conceitos de impulso e variação do momento linear</i> .....  | 318 |
| Figura 53 – <i>Problema envolvendo a interpretação e utilização de dados de um gráfico</i> .....  | 319 |
| Figura 54 – <i>Diapositivo referente ao conceito de trabalho físico</i> .....   | 322 |
| Figura 55 – <i>Diapositivo referente ao conceito de potência. A animação permite observar que a segunda máquina realiza igual trabalho num menor intervalo de tempo</i> ..... | 323 |
| Figura 56 – <i>Diapositivo que apresenta uma pequena proposta de trabalho para os alunos, relacionada com o conceito de potência</i> .....                                    | 323 |
| Figura 57 – <i>Diapositivo que apresenta uma situação e uma questão relativas ao conceito de momento de uma força em relação a um ponto</i> .....                             | 327 |
| Figura 58 – <i>Diapositivo relacionado com o conceito de momento de inércia</i> ...   | 327 |
| Figura 59 – <i>Demonstração prática executada pelos alunos no decorrer das aulas</i> .....  | 328 |
| Figura 60 – <i>Problema envolvendo conceitos de cinemática e dinâmica da rotação</i> .....  | 329 |
| Figura 61 – <i>Percentagem de alunos que efectuaram a entrega dos trabalhos propostos para casa, dentro dos prazos estabelecidos</i> .....                                    | 330 |
| Figura 62 – <i>Problema de síntese integrante da colectânea de exercícios e problemas</i> .....   | 331 |
| Figura 63 – <i>Percentagem de presenças: nas aulas teóricas, teórico-práticas e práticas (azul); nas sessões de orientação tutória (laranja)</i> .....                        | 333 |
| Figura 64 – <i>Sistema de lançamento de projecteis existente no laboratório de Física</i> .....   | 337 |
| Figura 65 – <i>Projecto apresentado por um dos grupos de alunos e relativo ao estudo de projecteis</i> .....  | 338 |
| Figura 66 – <i>Dispositivo existente no laboratório de Física destinado a estudos de movimentos e da sua relação com as forças actuantes</i> .....                            | 339 |
| Figura 67 – <i>Projecto apresentado por um dos grupos de alunos e relativo ao estudo da relação entre forças e movimentos</i> .....   | 340 |
| Figura 68 – <i>Dispositivo existente no laboratório de Física, apetrechado com uma calha com um looping destinado a estudos de energia mecânica</i> .....                     | 341 |
| Figura 69 – <i>Projecto apresentado por um dos grupos de alunos e relativo a um estudo sobre energia mecânica</i> .....   | 342 |
| Figura 70 – <i>Dispositivo existente no laboratório de Física para estudos de colisões</i> .....  | 343 |
| Figura 71 – <i>Projecto apresentado por um dos grupos de alunos e relativo a um estudo sobre colisões</i> .....   | 344 |
| Figura 72 – <i>Dispositivo existente no laboratório de Física para estudos de cinemática e dinâmica da rotação</i> .....  | 345 |
| Figura 73 – <i>Projecto apresentado por um dos grupos de alunos e relativo a um estudo sobre dinâmica de rotação</i> .....  | 346 |
| Figura 74 – <i>Projectos - distribuição percentual da classificação quanto à estrutura e objectivos</i> .....   | 348 |
| Figura 75 – <i>Projectos – distribuição percentual da classificação quanto à correcta utilização da linguagem escrita</i> .....   | 349 |
| Figura 76 – <i>Projectos – distribuição percentual quanto à classificação da originalidade da proposta</i> .....  | 350 |
| Figura 77 – <i>Projectos – distribuição percentual da classificação quanto à sua exequibilidade</i> .....   | 351 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 78 – <i>Relatórios: média das classificações por tema de trabalho experimental</i> .....   | 353 |
| Figura 79 – <i>Distribuição percentual das classificações das apresentações e discussões públicas dos trabalhos experimentais</i> ..... | 354 |
| Figura 80 – <i>Distribuição percentual das classificações no 1º mini-teste</i> .....  | 355 |
| Figura 81 – <i>Distribuição percentual das classificações no 2º mini-teste</i> .....  | 356 |
| Figura 82 – <i>Distribuição percentual das classificações no 3º mini-teste</i> .....  | 357 |
| Figura 83 – <i>Distribuição percentual das classificações de assiduidade e qualidade de participação</i> .....                          | 359 |
| Figura 84 - <i>Distribuição percentual das classificações obtidas nas provas escritas de Mecânica I</i> .....                           | 360 |