

# Física A

**Fernando Miguel Pacheco Chaves**



**São Cristóvão/SE**  
**2009**

# Física A

**Elaboração de Conteúdo**  
Fernando Miguel Pacheco Chaves

---

**Capa**  
Hermeson Alves de Menezes

Reimpressão

---

Copyright © 2009, Universidade Federal de Sergipe / CESAD.  
Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização por escrito da UFS.

**FICHA CATALOGRÁFICA PRODUZIDA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

C512f Chaves, Fernando Miguel Pacheco.  
Física A / Fernando Miguel Pacheco Chaves -- São  
Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2009.

1. Física. I. Título.

CDU 53

**Presidente da República**

Luiz Inácio Lula da Silva

**Chefe de Gabinete**

Ednalva Freire Caetano

**Ministro da Educação**

Fernando Haddad

**Coordenador Geral da UAB/UFS****Diretor do CESAD**

Antônio Ponciano Bezerra

**Secretário de Educação a Distância**

Carlos Eduardo Bielschowsky

**Vice-coordenador da UAB/UFS****Vice-diretor do CESAD**

Fábio Alves dos Santos

**Reitor**

Josué Modesto dos Passos Subrinho

**Vice-Reitor**

Angelo Roberto Antonioli

---

**Diretoria Pedagógica**

Clotildes Farias (Diretora)

Hérica dos Santos Mota

Iara Macedo Reis

Daniela Souza Santos

Janaina de Oliveira Freitas

**Núcleo de Avaliação**

Guilhermina Ramos (Coordenadora)

Carlos Alberto Vasconcelos

Elizabeth Santos

Marialves Silva de Souza

**Diretoria Administrativa e Financeira**

Edélzio Alves Costa Júnior (Diretor)

Sylvia Helena de Almeida Soares

Valter Siqueira Alves

**Núcleo de Serviços Gráficos e Audiovisuais**

Giselda Barros

**Núcleo de Tecnologia da Informação**

João Eduardo Batista de Deus Anselmo

Marcel da Conceição Souza

**Coordenação de Cursos**

Djalma Andrade (Coordenadora)

**Assessoria de Comunicação**

Guilherme Borba Gouy

**Núcleo de Formação Continuada**

Rosemeire Marcedo Costa (Coordenadora)

---

**Coordenadores de Curso**

Denis Menezes (Letras Portugues)

Eduardo Farias (Administração)

Haroldo Dorea (Química)

Hassan Sherafat (Matemática)

Hélio Mario Araújo (Geografia)

Lourival Santana (História)

Marcelo Macedo (Física)

Silmara Pantaleão (Ciências Biológicas)

**Coordenadores de Tutoria**

Edvan dos Santos Sousa (Física)

Geraldo Ferreira Souza Júnior (Matemática)

Janaina Couvo T. M. de Aguiar (Administração)

Priscilla da Silva Góes (História)

Rafael de Jesus Santana (Química)

Ronilse Pereira de Aquino Torres (Geografia)

Trícia C. P. de Santana (Ciências Biológicas)

Vanessa Santos Góes (Letras Portugues)

---

**NÚCLEO DE MATERIAL DIDÁTICO**

Hermeson Menezes (Coordenador)

Edvar Freire Caetano

Isabela Pinheiro Ewerton

Lucas Barros Oliveira

Neverton Correia da Silva

Nycolas Menezes Melo

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos"

Av. Marechal Rondon, s/n - Jardim Rosa Elze

CEP 49100-000 - São Cristóvão - SE

Fone(79) 2105 - 6600 - Fax(79) 2105- 6474



# Sumário

---

<b>AULA 1</b>	
O que é a Física? A grande síntese newtoniana.....	01
<b>AULA 2</b>	
Espaço linear. velocidade média e velocidade instantânea .....	33
<b>AULA 3</b>	
Cinemática. Conceitos básicos do cálculo integral e diferencial .....	63
<b>AULA 4</b>	
Tratamento vetorial. Relatividade de Galileu e de Einstein .....	121
<b>AULA 5</b>	
Dinâmica. As leis de Newton .....	167
<b>AULA 6</b>	
Conservação de energia .....	199
<b>AULA 7</b>	
Conservação do momento linear .....	247
<b>AULA 8</b>	
Movimento rotacional... ..	300
<b>AULA 9</b>	
Conservação do momento angular .....	359
<b>AULA 10</b>	
Teoria da gravitação universal .....	397



# Aula 1

## O QUE É A FÍSICA? A GRANDE SÍNTESE NEWTONIANA

### META

Mostrar o sentido e o significado da Física, analisando sua evolução à partir da Grécia antiga. Em particular descrever e analisar a grande síntese newtoniana, a Mecânica e a Teoria da Gravitação e discutir sua importância como fundamento e modelo de toda elaboração científica moderna.

### OBJETIVOS

Proporcionar ao aluno uma visão mais clara do que é a Física, qual seu significado, sentido e o alcance dos problemas abordados pela Física. Tornar o aluno apto então a compreender como se faz Física e principalmente como se **estuda a Física**.

### PRÉ-REQUISITOS

A Geometria, a Álgebra e a Trigonometria, do curso secundário, bem como elementos de Cálculo Vetorial, e Cálculo Diferencial e Integral.

## INTRODUÇÃO

Caros alunos do ensino à distância:

Vocês certamente já conhecem alguma coisa de Física, de seu curso secundário. Sabem então que a Física pode resolver alguns problemas do mundo natural, usando a Matemática. Aqueles que fizeram a disciplina “Evolução dos conceitos de Física”, já tiveram uma idéia mais clara do que é a Física no sentido de uma disciplina científica na atualidade.

Nesta primeira aula, vamos aprofundar estes conhecimentos, mostrando a Física desde o seu nascimento, junto com o nascimento do pensamento racional na Grécia antiga, e junto com o nascimento da Filosofia, com a qual nesta época ela se identificava. Mostraremos em seguida sua evolução na Idade Média, até chegar a Renascença, ao estabelecimento da Física como ciência moderna, por Galileu, e à grande síntese newtoniana com a Mecânica e a Teoria da Gravitação.

Esta primeira aula não é simplesmente um complemento cultural acrescentado ao programa de Física A. Esta aula pode lhe dar uma nova visão do que é a Física, sua importância e como conseqüência como estudar Física. Voltaremos a este último aspecto como estudar Física-em muitos momentos de nosso curso.

### 1.1 PRIMEIROS DESENVOLVIMENTOS. A GRÉCIA ANTIGA

A disciplina científica que chamamos Física, só ganha seu feitiço atual na Renascença e em particular com Galileu, como veremos neste capítulo. Mas algumas preocupações e alguns problemas, e mais do que isso, muito da maneira de pensar e raciocinar usados na Física contemporânea tem sua origem na Grécia antiga a partir do VI século A.C (Antes de Cristo).

A primeira e mais importante contribuição da Grécia, não só para a Física mas para todas as ciências, é o surgimento do pensamento racional. Para entender o que é o pensamento racional e o seu surgimento na Grécia antiga, temos antes que entender o seu contrário-pensamento não racional. O homem, desde a mais remota antiguidade, tentou compreender e explicar o mundo em que vivia. Mas as primeiras explicações, de povos em épocas muito anteriores ao período histórico, se davam no âmbito de um tipo de pensamento que hoje qualificamos como pensamento mágico.

**O período histórico inicia-se com a existência da escrita. As mais antigas civilizações do período histórico são a egípcia pois os egípcios tinham uma escrita,**



## **os hieróglifos, e os Caudeus na mesopotâmia, que tinham uma escrita baseada nos caracteres cuneiformes.**

São as lendas, os mitos, as crenças infundadas das primitivas religiões. É um tipo de pensamento que existe até hoje na forma de superstições. Neste tipo de pensamento explica-se os fenômenos recorrendo sempre a causas sobrenaturais. Por exemplo o raio (relâmpago) é o deus Zeus da mitologia grega, atirando flechas na Terra; os maremotos são conseqüências da fúria de Poseidon, o deus do mar, também da mitologia grega.

Este tipo de pensamento deu também suporte à organização social de algumas civilizações antigas. Por exemplo, o império egípcio foi uma teocracia. O Faraó egípcio teria, para eles, uma origem divina. Na Grécia, por motivos históricos nunca se constituiu um império.

## **Teocracia-quando o poder em uma organização social provem de Deus (Téo-Deus)**

A península do Peloponeso (ver no mapa) situada na Europa Ocidental, mas junto ao oriente médio, sofre várias levadas de invasão. As diversas cidades gregas, nunca se uniram em um estado único ou império, mas mantiveram sempre sua autonomia. Constituíram-se em cidades-estado, com uma característica nova: eram freqüentemente comandados por conselhos eleitos entre os cidadãos livres. Eram organizações politicamente democráticas. Aliás, a palavra democracia surge da Grécia.

## **Democracia-o poder social emana do povo**

Temos que observar, porém que esta democracia não tem precisamente o sentido de democracia como entendemos hoje, porquanto se tratava de uma democracia entre os homens livres. As mulheres e os escravos não participavam das decisões políticas.

Mas o que tudo isto tem a ver com o surgimento do pensamento racional? A ligação é a seguinte: como as decisões políticas eram tomadas por conselho de cidadãos, os indivíduos participantes tinham que expor suas idéias, e convencer seus pares. Mas para tanto precisavam utilizar argumentos não baseados em lendas, mitologias, ou autoridade religiosa, mas sim, mais ligados à observação dos fatos concretos, mais articulados em função de um raciocínio lógico, procurando explicar fatos naturais por causas naturais, sem

recorrer ao sobrenatural. Pois bem, estas são as características do pensamento racional. E este pensamento racional está na base de qualquer elaboração científica e em particular, na base da elaboração em Física.

Demos assim um primeiro exemplo de como a organização social influi na elaboração científica. A ciência não é algo abstrato, neutro e que possa ter sua vida própria independentemente dos homens. No seu processo de elaboração ela depende da organização político-social da humanidade em cada momento. Varemos ainda muitos outros exemplos da ligação entre a ciência e a sociedade humana.

Assim, entre os séculos VI A.C e IV A.C. (o século sexto antes de Cristo, e o quarto antes de Cristo), apareceram muitos filósofos da natureza, os assim chamados pré-socráticos, porque foram anteriores ao grande filósofo Sócrates, e porque seu enfoque e suas preocupações são um tanto diferentes da filosofia depois de Sócrates.

Estes filósofos se preocupavam com o mundo e com a natureza, e se não faziam física no sentido moderno, como explicaremos ainda nesta aula, levantaram muitos problemas e usaram métodos que caracterizam a Física como ciência contemporânea. Discutiam problemas sobre a origem e a constituição do mundo, e sua evolução, e abandonaram qualquer recurso ao pensamento mágico, às lendas, aos mitos e à tradição religiosa, construindo suas teorias na base do pensamento lógico e racional. Por isto estes filósofos podem ser considerados como uma primeira manifestação daquilo que viria a ser a Física.

Há um grande número de filósofos pré-socráticos entre os quais citemos Anaximandro, Anaxímenes, Tales, Parmênides, Demócrito, Heráclito, Pitágoras. Todos eles deram importantes contribuições, algumas das quais se assemelham as teorias físicas modernas. Por exemplo, Demócrito concebeu a idéia de átomo. Ele achava que o mundo era composto de um certo número de tipos de partículas indivisíveis, os átomos, e que das diferentes possíveis combinações destas partículas, resultavam toda a variedade de substâncias.

### **Átomo em grego significa indivisível.**

Vemos que este é uma idéia que a ciência moderna em parte confirma. De fato, os diferentes átomos são os diferentes elementos químicos da combinação dos quais surgem as diferentes moléculas e finalmente as diferentes substâncias. Somente que hoje não pensamos no que agora chamamos átomos, como indivisíveis. Os átomos atuais têm, como

você sabe, uma estrutura complexa, com um núcleo e uma camada de elétrons. Mas continuamos a acreditar, embora saibamos que os átomos modernos são divisíveis, em outras partículas que seriam os átomos de Demócrito, e que atualmente chamamos de partículas elementares. Por exemplo, os elétrons, os muons, os quarks.

Outro dos pré-socráticos, que teve uma influência direta na maneira de pensar desta disciplina que hoje chamamos a Física, foi Pitágoras. Pitágoras ficou muito impressionado com o fato que a altura de uma nota emitida por uma mesma corda vibrante depende do comprimento da corda. Quem tiver um violão pode comprovar que apertando uma corda ao meio ou seja, reduzindo seu tamanho pela metade, e fazendo-a vibrar, obteremos uma nota que é uma oitava acima daquela obtida com a corda livre. Reduzindo o comprimento à  $1/3$  (ou seja, apertando a corda em  $2/3$  da cravelha) obtemos uma nota cuja altura é uma oitava mais uma quinta. O que impressionou Pitágoras foi o fato de relações numéricas simples, as frações do comprimento da corda, estarem diretamente ligadas a um fato do mundo físico, a altura de um som. Concebeu ele então a idéia que o mundo estava relacionado com os números, ou melhor que o mundo podia ser descrito pelos números.

Ora esta é também uma idéia da Física contemporânea: a Matemática é a linguagem com o qual a Física descreve o mundo.

No caso da intuição pitagórica, há um fato curioso que merece ser mencionado. Pitágoras descobriu a incomensurabilidade da diagonal de um quadrado pelos seus lados. De fato se tomarmos um quadrado de lado 1 (ver Fig. [1 - 1]), vemos, pelo próprio Teorema de Pitágoras que a diagonal terá comprimento  $d = \sqrt{1+1} = \sqrt{2}$ .

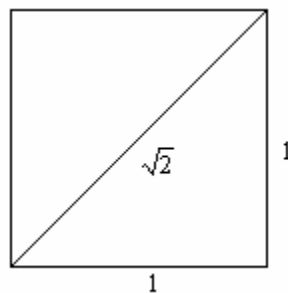


Fig. [1-1]

**O Teorema de Pitágoras tem como tese que o quadrado da hipotenusa em triângulo retângulo, é igual a soma dos quadrados dos catetos.**

Para nós hoje isto não causa problema, a raiz quadrada de 2 é um número irracional. Sabemos que um número irracional não tem uma representação na forma  $p/q$

onde  $p$  e  $q$  são dois números quaisquer, nem uma representação decimal. E não tem sequer uma representação decimal infinita como uma dízima periódica.

**A representação decimal é algo do tipo 1.54. Uma dízima periódica é uma representação decimal infinita. É algo do tipo  $10/3 = 3,333\dots$  e o número três se repete até o infinito, ou do tipo 2,378378378...(dízima periódica)**

Hoje classificamos  $\sqrt{2}$  como um número irracional. Mas para Pitágoras que compreendeu as impossibilidades que explicamos acima (de representar como  $p/q$ , ou ter uma representação decimal finita ou como dízima periódica), o símbolo  $\sqrt{2}$  não era um número. Como pretender então que todo universo pudesse ser descrito por números, se a própria diagonal de um quadrado, se o lado valer o número 1, não corresponde a nenhum número?

Os pitagóricos (seguidores de Pitágoras) se organizaram em uma seita. Nesta seita, só os mais importantes membros conheciam o “segredo da incomensurabilidade da diagonal de um quadrado em termo dos lados”. Consta ainda que seria condenado à morte qualquer membro da seita que revelasse este segredo.

Outra fundamental contribuição da Grécia antiga para a ciência que hoje chamamos de Física é a Matemática, mais especificamente a Geometria. Tales e Pitágoras foram importantes geômetras da mais remota antiguidade (VI século A.C.). Mas é com a geometria de Euclides que nasce a Matemática. E dizemos isto, não somente porque Euclides na sua Geometria sintetizou e alargou todas as propriedades geométricas conhecidas, mas, sobretudo porque colocou de forma clara e explícita o método axiomático que é a essência mesmo da Matemática. Em que consiste o método axiomático?

O método axiomático consiste em assumir algumas proposições como verdades evidentes, verdades que todos concordam, e a partir destas proposições os axiomas e os postulados, ir tirando, por inferência lógica outras conclusões, e destas tirar ainda outras até demonstrar proposições mais complexas, que não são imediatamente evidentes, Desta maneira as afirmações e as conclusões da Matemática são provadas e só pode fazer parte do corpo de uma teoria Matemática aquilo que pode ser demonstrado ou seja provado.

**Interferência é um raciocínio dedutivo. tirar uma outra proposição por interferência lógica de um axioma é deduzir esta outra preposição do axioma.**

Isto é a essência mesma da Matemática porque é isto que confere à Matemática e as ciências que usam a Matemática como sua linguagem a denominação de “ciências exatas”.

Como exemplo famoso de um axioma citemos o 5º Axioma da Geometria de Euclides.

“Por um ponto fora de uma reta é possível traçar uma única paralela à reta”.

(ver Fig. [1-2])

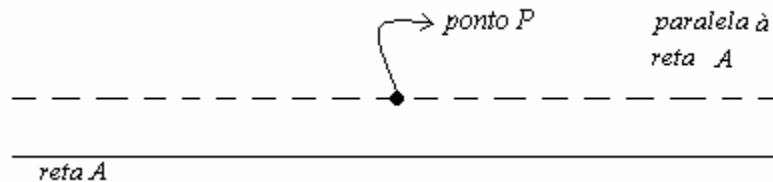


Fig. [1-2]

Observe a diferença entre o conhecimento de uma propriedade geométrica, e o conhecimento com sua prova. Por exemplo. Os egípcios conheciam a afirmação do Teorema de Pitágoras (a Tese do Teorema). Sabemos disto porque eles demarcavam os terrenos periodicamente inundados pelas águas do Nilo, usando o teorema, ou melhor, a Tese do Teorema. Para demarcar os terrenos inundados eles precisavam traçar perpendiculares as margens do rio Nilo (ver Fig. [1 - 3]). Eles sabiam que construindo um triângulo com cujos lados tivessem comprimentos 3, 4, e 5 teriam um ângulo reto (ver Fig. [1 - 4]). Mas este conhecimento obtido empiricamente ou mesmo experimentalmente, é fundamentalmente diverso de conhecer a propriedade e saber prová-la a partir de axiomas e postulados. Os egípcios e os babilônios conheciam muitas propriedades geométricas, mas é somente com os gregos que surge a geometria e como consequência a Matemática com ciência.

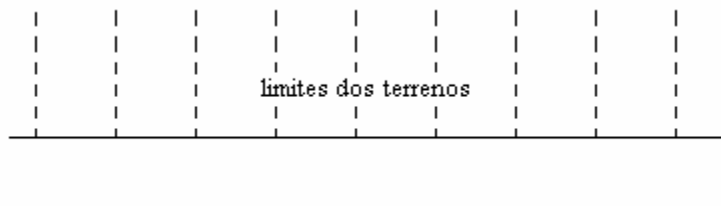
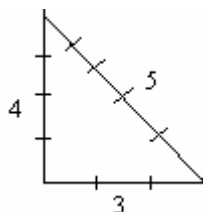


Fig. [1 - 3]



## 1.2 A HERANÇA GREGA

Vimos no tópico anterior, que além de algumas propostas importantes dos filósofos pré-socráticos (a teoria atômica de Demócrito, o universo descrito por números de Pitágoras além de muitas outras) as duas contribuições fundamentais da Grécia antiga para a Física, foram o estabelecimento do pensamento racional, e o método axiomático da Matemática.

Entretanto não se desenvolveu na Grécia antiga a Física propriamente dita tal como a concebemos hoje. Isto porque a Física atual implica também em outro elemento muito importante que é a experiência. Para observar a natureza é necessário montar experimentos. Só assim podemos saber com exatidão as causas de certo fenômeno e medir a influência de um dado elemento no desenvolvimento de um determinado processo físico. Por exemplo, se quisermos saber qual a influência do calor na dilatação dos metais, temos que fazer uma experiência tomando uma barra metálica e submetendo-a ao calor. Aí então vamos poder comprovar que realmente o aumento de temperatura da barra acarreta sua dilatação. E mais do que isto, vamos poder medir que quantidade de calor causa uma determinada dilatação. Vimos que a democracia dos gregos antigos era uma democracia relativa. Era uma democracia entre os cidadãos livres do sexo masculino. Os escravos e as mulheres estavam excluídos. A eles, escravos e mulheres, cabiam os trabalhos manuais de toda natureza. Os cidadãos livres desprezavam qualquer forma de trabalho manual. Se dedicavam as artes marciais, eventualmente à caça, e as discussões sobre todos os temas, inclusive os políticos e filosóficos. Não tendo familiaridade com os trabalhos manuais também não lhes ocorria fazer experiências. Discutiam o mundo baseados na lógica e na razão e naturalmente naquilo que era possível observar sem recorrer à elaboração de experiências.

Por isso os gregos antigos, apesar das enormes contribuições para a Física, apesar de serem responsáveis pelos primeiros passos desta ciência, não chegaram a fazer Física. Exceção deve ser feita a Arquimedes que foi um físico no sentido moderno. Compreendeu a importância da experimentação e sua teoria do empuxo que um corpo sólido sofre em um líquido é ensinado até hoje. Estudou, além disto, o que hoje chamamos de máquina simples (alavanca, cunha etc) e conhecia toda Matemática da época, tendo calculado o número irracional pi ( $\pi$ ).

As maiores contribuições dos gregos foram na Matemática e na Astronomia. Entende-se porque. A Astronomia é uma ciência exclusivamente observacional onde não cabe nenhuma necessidade de experiências. As conquistas gregas em astronomia são absolutamente notáveis. Eles entenderam que a Terra tem um formato esférico e chegaram a calcular o diâmetro da Terra com bastante precisão. Calcularam, também com muita precisão a distância da Terra à Lua, e tinham também uma idéia, embora um pouco menos precisa da distância da Terra ao Sol. Erastóstenes, que foi um grande astrônomo grego, chegou mesmo a propor um sistema planetário com o Sol no centro e a Terra girando, juntamente com os demais planetas, em torno do Sol. Este sistema não foi porém universalmente aceito entre os gregos, e veremos que o sistema que prevaleceu, e que se tornou parte importante da herança grega, foi o sistema do Ptolomeu.

Mas para entender a herança grega para a Física, temos que mencionar os três mais conhecidos filósofos da Grécia antiga: Sócrates, Platão e Aristóteles.

Costuma-se designar, como fizemos, os filósofos anteriores à Sócrates, como pré-Socráticos, porque, Sócrates marca uma ruptura na filosofia grega. Os filósofos pré-socráticos que mencionamos, tinham basicamente uma preocupação com o mundo físico, com o universo, sua origem, suas constituições, suas leis de evolução. Por isto podemos situar neles, o aparecimento da Física. Já Sócrates muda o eixo de preocupações da filosofia; ele passa a questionar o homem, seus atributos, sua razão sua possibilidade de conhecer o mundo. Sócrates tinha uma maneira interessante de fazer filosofia: ele conversava com as pessoas, colocando uma série de perguntas, e fazendo-as raciocinar por si mesmas para muitas vezes lhes mostrar a fragilidade de conceitos tidos como certos, e levá-los a refazer seus pontos de vistas de maneira mais consistente e mais lógica. Este método, que no fundo é também um método de ensino, é chamado de maêutica.

Sócrates não escreveu nada. Suas idéias são conhecidas através de seu discípulo Platão. Platão escreveu sua obra na forma de diálogos que assim exprimem muito bem a maeutica socrática. Mas além disto Platão foi um filósofo muito importante e suas idéias são de muitas maneiras recuperadas e constituem parte fundamental da herança grega como veremos ainda nesta aula. Platão é um primeiro grande exemplo de um filósofo idealista. Para Platão todas as coisas que vemos, seres animados ou inanimados, são reproduções imperfeitas de um conceito ideal e perfeito. Assim por exemplo existe um conceito abstrato ideal de cavalo, e todos os cavalos concretos que conhecemos são reproduções deste cavalo ideal.

**Idealismo: escola filosófica que considera que a idéia precede a matéria. A idéia existe antes da matéria.**

Aristóteles foi discípulo de Platão. É o filósofo de antiguidade que maior influência teve no pensamento ocidental. Aristóteles era dotado de um espírito científico e sua maneira de elaborar a classificação, que teve seu ponto culminante na botânica, e na Biologia é adotada até os dias de hoje. Assim nossa classificação dos seres em família, gênero, espécie etc... provém de Aristóteles. Chama-se, este modelo de classificação de Taxonomia. Mas Aristóteles escreveu sobre todas as ciências e suas observações sobre Física, que analisaremos abaixo se tornaram posteriormente dogmas que tiveram que ser combatidos, especialmente por Galileu, no estabelecimento da Física no seu sentido contemporâneo.

**Dogma: verdade aceita pela força da tradição e que não admite questionamento racional**

Mas o fato de ter sido transformado em dogma durante a Idade Média, nada tem a ver com a personalidade nem com a filosofia de Aristóteles. Aristóteles viveu e escreveu no clima de liberdade intelectual que caracterizou todo pensamento da Grécia antiga. Além do mais foi um dos expoentes do racionalismo grego e especialmente preocupado com a lógica, ou seja, com o método de conduzir o pensamento e elaborar as deduções.

Aristóteles foi ainda um sintetizador de toda filosofia da Grécia antiga, incluindo os filósofos pré-socráticos que em grande parte conhecemos através dos escritos de Aristóteles.

É importante mencionar algumas idéias de Aristóteles sobre a Física, pois são estas idéias que são posteriormente modificadas por Galileu e Newton, quase 2.000 anos depois, quando eles lançam as bases da Física que temos hoje.

Para Aristóteles o movimento se explica pela busca de cada corpo de seu “lugar natural”. Assim o lugar natural dos corpos pesados (chamados de graves, donde a palavra gravidade) é a Terra. Já as substâncias mais leves, como a fumaça, tendem a subir. Aristóteles não compreendeu a inércia. Assim para ele, uma carroça se move enquanto o cavalo a puxa, portanto enquanto existe uma força. Se o cavalo já não puxa mais, a carroça para. Para Aristóteles então a velocidade é proporcional à força. Por isto ele tem



dificuldade de explicar como uma flecha contínua em movimento depois que já não está mais em contato com a corda do arco.

Vemos que apesar de sua imensa genialidade, na sua releitura dos filósofos anteriores, para elaborar sua grande síntese de toda cultura grega, Aristóteles nem sempre escolheu o que havia de melhor. Comparemos por exemplo sua teoria do lugar natural com a hidrostática de Arquimedes. Veremos no próximo tópico como pela enorme influência de Aristóteles durante a Idade Média, o que durante muito tempo passou para o mundo ocidental, no terreno da Física e da Astronomia, não foi o que de melhor já havia surgido na Grécia antiga.

### **1.3 A IDADE MÉDIA, A RENASCENÇA, GALILEU E NEWTON.**

Em 352 A.C (antes de Cristo) a Grécia cai sob o domínio da Macedônia. O conquistador da Grécia foi o rei Felipe da Macedônia. Seu filho Alexandre foi um dos maiores generais que a história conheceu e suas conquistas resultaram em um enorme império que abrangia todo o oriente médio e parte da Europa, mas que foi de efêmera duração. O império de Alexandre espalhou a cultura grega por grande parte do mundo. Por volta do II século antes de Cristo a Grécia cai sob o domínio do Império Romano que na sua fase de maior expansão abrangia grande parte da Europa (todo sul da Europa incluindo a atual Inglaterra), o norte da África e parte do Oriente Médio. O Império Romano durou mais de 1.000 anos.

A grande façanha dos romanos, é que a par de seu extraordinário poder militar e um bom número de generais excelentes, tiveram habilidade política para garantir a sobrevivência de um enorme império durante tantos anos. Assim a maior contribuição dos romanos para a cultura humana está no domínio das leis. Existiram nesta época alguns filósofos importantes, mas que são continuadores da filosofia grega e freqüentemente enquadrados dentro de alguma escola filosófica grega. Roma, de modo geral absorveu a cultura grega mas não houve nesta época nenhuma contribuição especialmente importante para a Física.

No século IV da era cristã, o imperador Constantino toma o cristianismo a religião oficial do império. Antes disto os romanos adotavam uma religião muito semelhante à antiga mitologia grega, cultuando os antigos deuses mitológicos da Grécia antiga. A adoção do Cristianismo, que no início foi violentamente combatido por alguns imperadores, como religião oficial do Império Romano teve profundas conseqüências em todo o pensamento ocidental. Tratava-se de uma religião monoteísta originária da Ásia Menor e em tudo

diferente das crenças e mitologia que até então vigoravam. Inicia-se a Filosofia Cristã. Esta filosofia é uma estranha amálgama do pensamento racional grego com os dogmas do cristianismo.

**Amálgama é mistura, fusão. Usa-se as vezes para dois mentais que se fundem resultando em uma nova substância (metal) com qualidades diferentes dos dois mentais que se fundiram.**

Dissemos que se tratou de uma estranha amálgama porquanto o pensamento racional surgiu exatamente em oposição às explicações sobrenaturais dos fenômenos, e a uma maneira de pensar religiosa e dogmática. Esta conciliação se dá porque a filosofia cristã mantendo o racionalismo grego, a forma lógica de pensar, a construção do raciocínio por inferências, sem abrir mão dos dogmas religiosos.

**Inferência é a técnica de dedução de uma proposição a partir de outra. É a forma, portanto, de construir um raciocínio logicamente.**

Por exemplo, uma demonstração muitas vezes feita pelos filósofos cristãos, é a prova da existência de Deus. Mas naturalmente a existência de Deus é um dos dogmas mais fundamentais do cristianismo. Para um religioso, acreditar em Deus é antes um ato de fé, que um ato de razão. Apesar disto, muitos filósofos cristãos se dedicaram à elaborar provas, algumas das quais muito sofisticadas, da existência de Deus. Veremos em seguida, como deste amálgama do pensamento grego com a religião cristã resulta em uma forma de cultura, mantida nos conventos na Idade Média, que se chamou escolástica e que acabou sendo um entrave para o progresso da ciência.

### **A Idade Média**

Historicamente o período classificado como Idade Média, é o que vai de queda do Império Romano em 476 D.C (Depois de Cristo) até a tomada de Constantinopla pelos turcos em 1453. Até recentemente costumava-se ver Idade Média como um período de estagnação senão mesmo de retrocesso da cultura no ocidente. A moderna historiografia tem uma visão diferente. É verdade que não surgiram, antes do pré-renascimento (que estudaremos em seguida) e já no fim da Idade Média, homens da envergadura dos filósofos da Grécia e do mundo antigo em geral.

**Lembrar, que quando falamos em filosofia estamos nos referindo também as ciências e mesmo à Física que se incluíam na Filosofia Natural.**

Mas o mundo ocidental que emerge ao final da Idade Média é em muitos aspectos muito diferente do mundo antigo à época da queda do Império romano. E foram estes aspectos muito diferentes que proporcionaram o extraordinário impulso cultural e social do início do período moderno. Tivemos na Idade Média, importantes modificações e avanços nas técnicas, na organização da produção artesanal e nas técnicas de navegação. O mercantilismo ganhou força e impulso, temos a invenção da Bússola, a descoberta da pólvora e substanciais modificações na arte militar, o aparecimento das línguas latinas a partir do latim vulgar, e o germe do que seriam as nações européias, algumas das quais se constituíram só muito tardiamente.

Enfim, temos um mundo que se modifica e que evolui: mas não temos um conjunto ilustre dos pensadores como na Grécia antiga e como aqueles que no mundo antigo ainda continuaram a cultura filosófico-científica da Grécia antiga.

Nesta perspectiva estritamente científico-cultural, olhamos a Idade Média como um período de espera, que mal e mal conserva traços de que foi a cultura grega e que desemboca no pré-Renascimento e na Renascença. Renascença porque, ou de que? Renascença da cultura científico-filosófica e artística do mundo antigo. Mas este renascimento, não é uma mera retomada do que já havia sido feito e estava em parte esquecido, mas uma nova explosão de pensamento que vai moldar o mundo moderno, e que em muitas casas, em particular no caso da Física como veremos, se dá em franca oposição a aquilo que na Idade Média tinha se transformado a ciência grega.

Os dois grandes canais de conservação da cultura antiga na Idade Média foram os mosteiros na Europa Ocidental e o importante desenvolvimento da cultura islâmica.

Começemos por esta última. O mundo árabe com a fundação da religião maometana, por volta de 800 da era cristã, tem um surto de expansão dominando todo norte da África e entrando na Europa, pela península ibérica, invadindo Portugal e dominando parte da Espanha. Conhecedores e admiradores da cultura grega traduziram do grego praticamente toda a obra conhecida depois da expansão da cultura grega na época do império de Alexandre o grande. Boa parte do que ficou conhecido dos antigos filósofos gregos na Europa Ocidental, se deve a traduções feitas pelos árabes. Mas eles não se

limitaram a traduzir. Muitos pensadores, entre os quais citamos Miomônides, na tradição da filosofia grega, trouxeram suas próprias e importantes contribuições.

Mas ao lado da enorme efetividade dos árabes como herdeiras e cultuadores da antiga filosofia grega, eles foram fundadores de duas sistemáticas da Matemática que foram de fundamental importância para todo desenvolvimento posterior não só da Matemática, como de toda a ciência. A primeira é a introdução dos algarismos arábicos. A invenção dos algarismos arábicos é da mesma importância que a do alfabeto pelos fenícios. Notemos que não se trata apenas de uma notação para os números, mas sim, e fundamentalmente da introdução do sistema decimal e com isto de uma sistemática de operações com os números. É inteiramente impossível efetuar contas aritméticas com os algarismos romanos. A segunda é a invenção da álgebra. Não é preciso nem comentar o extraordinário avanço para a Matemática que consistiu o estabelecimento de relações abstratas entre grandezas que é a álgebra. Veremos em particular que o estabelecimento da geometria analítica com a união da álgebra e da geometria é talvez a técnica de maior importância para o estabelecimento da Física no sentido moderno. Vemos que até a alta Idade Média, que é o período posterior ao ano 1.000 D.C. (Depois de Cristo) a cultura islâmica foi muito mais importante que a cultura na Europa.

Com a queda do Império Romano houve sem dúvida uma decadência cultural na Europa que tinha sido parte do Império Romano. A cultura do mundo antigo foi conservada, nesta parte do mundo, nos monastérios, aonde se continuou cultivando a chamada Filosofia Cristã. Esta, como já mencionamos acima, foi uma mistura de racionalismo grego com os dogmas da religião cristã, e dela resultou uma disciplina científico-religiosa que se chamou escolástica. Muitos pensadores, inclusive diversos papas, contribuíram para a sedimentação da escolástica, mas dentro eles os dois mais importantes foram Santo Agostinho (no terceiro século da era cristã) e Santo Tomás de Aquino (1.225-1274) sendo que o primeiro desenvolveu as idéias gregas mais fundamentadas em Platão, e as mescla com o cristianismo, enquanto o segundo se baseia em Aristóteles, fundindo então as idéias deste pensador com os dogmas da religião cristã.

Já comentamos brevemente a contradição entre a filosofia racional grega e o dogmatismo religioso cristão e como foi possível fundir estas duas visões de mundo aparentemente opostas. Tínhamos observado que disto resultou uma disciplina que era capaz de construções racionais do pensamento, seguindo uma lógica de deduções muito bem elaborada, mas que ao mesmo tempo não admitia contestação e tinha sempre que convergir para os dogmas da fé religiosa.

Assim, se por um lado, se conservou nos monastérios da Europa, parte que havia sido a cultura grega, por outro lado a escolástica medieval acabou se tornando um entrave para o desenvolvimento científico e em particular para o surgimento da Física no sentido moderno.

Do ponto de vista da Física a escolástica padece de um mal que herda da cultura grega: a ausência completa de experimentação. Na sua tentativa de explicar e compreender a natureza, apela sempre para raciocínios abstratos, bem construídas, mas sempre baseados em afirmações dos antigos, sem observar e sem experimentar estas afirmações nos fenômenos reais. Mas o defeito fundamental, aquele que acabou por opor a escolástica e todo progresso da ciência e em particular ao progresso da Física, foi seu caráter dogmático, sua necessidade de imposição das verdades absolutas proferidas por Aristóteles e interpretadas segundo os dogmas religiosos do cristianismo. Vimos como todo pensamento racional surgia da democracia, porquanto da necessidade de convencer o outro por meio de argumentos e não pela imposição da autoridade. Perdendo este seu caráter de liberdade, a escolástica medieval foi perdendo a essência, a vitalidade e a fecundidade do verdadeiro pensamento racional da Grécia antiga. Já não é na verdade o pensamento racional na sua essência, que é a liberdade de investigação, a liberdade para aceitar o novo. A escolástica medieval assim se transformou em um pensamento pseudo-racional, que conservou do racionalismo grego apenas um aspecto formal da construção de um raciocínio logicamente desenvolvido. Tudo isto ficará mais claro quando contarmos a luta de Galileu e outros cientistas, contra a escolástica medieval. Mas para chegarmos lá devemos ainda analisar o desenvolvimento cultural da Europa na chamada alta Idade Média que é o período posterior ao ano 1.000 da era cristã.

### **A Renascença. Galileu Newton**

Na alta Idade Média, este quadro da cultura sempre limitada aos conventos e monastérios vai se alargando. A partir do ano 1.000 D.C. surgem as primeiras universidades das quais três das mais antigas são a Universidade de Salamanca na Espanha, a de Oxford na Inglaterra e a de Paris na França. Começam a aparecer nomes importantes para a filosofia e para a ciência. Citemos inicialmente Roger Bacon que já no século XIII da nossa era (D.C.), chama a atenção para a necessidade da experiência em qualquer processo de elaboração científica. Temos ainda os nomes de Aham e Buridan, que ainda dentro da escolástica medieval, colocam porém algumas questões de interesse da Física, como as

questões referentes ao movimento. No que concerne a necessidade da experimentação, Leonardo da Vinci coloca: “a sabedoria é filha da experiência”.

Aliás Leonardo da Vinci é uma personalidade excepcional que merece um destaque a parte em qualquer apanhado sobre a história do conhecimento. É uma figura completa, em que ciência e arte se unem, e é um nome típico da Renascença, da envergadura dos grandes nomes da antiguidade: Pintor, escultor, cientista (ele é um grande anatomista), engenheiro e inventor extraordinário (foi idealizador de muitos inventos que a humanidade criou posteriormente).

Para entender, porém, a dramática oposição entre a ciência e em particular a Física na alta Idade Média, oposição que culmina com a luta de Galileu pelo estabelecimento de uma Física e Astronomia modernas, e a Igreja, é preciso entender o papel social da Igreja na Idade Média.

Sendo a religião oficial do Império Romano na época da queda deste império no ocidente, e da invasão dos bárbaros, a Igreja permaneceu não somente como o núcleo de preservação cultural, como mostramos acima, mas muito mais do que isto. A Igreja assume um papel de agregador dos diferentes povos, reinos, feudos, que surgem na Europa com a invasão do Império Romano pelos bárbaros. É o substrato comum entre tantos e diversos povos e línguas que começam a se diferenciar. Enfim é o edifício moral que une todo este complexo de etnias, sob os mesmos padrões de comportamento, sob uma mesma ética; tudo isto alicerçado na mesma fé de todas as populações. Com isto a igreja vai se transformando em uma espécie de estado muito poderoso, às vezes mais poderoso que os reinos que vão se criando, e imensamente rico. Afasta-se assim cada vez mais da ética original do Cristianismo, que é fundamentalmente uma ética da igualdade, da pobreza e da renúncia aos bens materiais. E foge ainda mais quando adota certos procedimentos de duvidosa moralidade como a venda de indulgências.

**Venda de Indulgências-A Igreja passa a vender a absolvição dos pecados e a garantia da ida da alma ao céu.**

Este estado de coisas levou à Reforma Protestante. Em 1517 Martin Lutero pendura na catedral de Wittemberg seus 95 pontos contra a venda de indulgências, dando início à Reforma Protestante que cindiu para sempre o mundo cristão e foi a origem de muitas guerras e matanças. A Reforma Protestante do século XVI, cujos principais nomes são de Lutero e Calvino, não se limitou à crítica à venda de indulgência e à corrupção no

seio da Igreja Católica. Ela trás também todo um novo conceito de religião e todo um tipo de relacionamento entre o indivíduo, sua igreja e Deus.

Para compreendermos este momento da Renascença e do nascimento da Física como ciência moderna, temos que situar ainda um pouco melhor o papel e a ação da Igreja na Idade Média. O autoritarismo e o dogmatismo que vimos na escolástica medieval, não se limitaram a um dogmatismo intelectual. A Igreja, que se transformara em um estado poderoso, às vezes mais poderoso que os reinos, principados e feudos medievais, tinha também um poder de vida e morte sobre os indivíduos. Foi organizado um forte esquema repressivo, a inquisição, para combater as heresias.

**Heresia-qualquer interpretação da vida e do mundo, inclusive da própria religião, que não concorde com a interpretação da igreja.**

A Inquisição pretendia combater a heresia e até mesmo salvar a alma do herege, submetendo-o a horríveis torturas. No mais das vezes eles eram condenados à morte e a forma de execução adotada era a morte pela fogueira. Entre as centenas de pessoas que na Idade Média sofreram este suplício (talvez mesmo alguns milhares) temos Joana D'Arc, depois convertida a santa, e o filósofo Savonarola e o filósofo Giordano Bruno. Pois é neste ambiente que Galileu trava sua batalha contra a escolástica medieval e lança os fundamentos da Física de cuja concepção como ciência moderna, ele foi o grande artífice. Antes de relatarmos esta batalha vamos examinar a contribuição deste outro grande gênio da Renascença que foi René Descartes.

A imensa contribuição de Descartes para toda cultura ocidental se dá em duas vertentes: primeiro a vertente da filosofia e a segunda uma vertente especialmente ligada à Física como o fundador da Geometria Analítica. Como filósofo Descartes começa por questionar todo o conhecimento e pretende reconstituí-lo em base à premissas absolutamente seguras. Encontra a primeira premissa no seu célebre “Penso, logo existo”. Na verdade Descartes estende para todo o conhecimento, o método axiomático da Matemática que vimos no início deste capítulo.

Ele pretende que todo conhecimento seja deduzido a partir de verdades que possam ser consideradas seguras e evidentes para todos. Outra característica do cartesianismo é a de dividir uma questão qualquer em muitas partes que a compõe. Examinar e resolver as diferentes partes separadamente para então montar o todo.

Já com a Geometria Analítica, Descartes dá uma contribuição para a Física cuja importância é decisiva. Expliquemos. Vimos que os gregos praticamente fundaram a Matemática quando inventam o método axiomático, e elaboraram a geometria dentro deste método. Já nos referimos também à importância da álgebra, que foi uma das grandes contribuições da cultura islâmica na Idade Média. Pois bem, Descartes une estas duas grandes ferramentas criando uma nova técnica, ou mais que isto uma nova área da Matemática, que passará a ser o ferramental por excelência da Física. Ele traça um sistema de eixos perpendiculares (um sistema de eixos cartesianos) e pode apresentar no plano destes eixos o gráfico de uma equação algébrica. Vocês, alunos da Universidade Aberta, já estudaram um semestre de Geometria Analítica e sabem do que estamos falando. Queremos ressaltar aqui a enorme importância desta colocação de Descartes para a Física. Se tivermos, por exemplo, um função  $Y = f(x)$  onde a variável  $x$  representa o calor fornecido à um metal, e a variável  $y$  a dilatação deste metal. Tomando uma série de pontos desta função, podemos escrever o gráfico da mesma. Desta maneira a relação calor-dilatação, pode ser estudada com todo ferramental tanto da álgebra quanto da geometria. Completa-se assim o processo de matematização da natureza, que é a essência da Física.

Além destas contribuições filosóficas e metodológicas, Descartes também elaborou muita coisa em Física, mas grande parte foi superada pela grande síntese Newtoniana. Perduram, entretanto, seus trabalhos em ótica, como por exemplo, a lei de Snell-Descartes da reflexão.

O grande embate com a escolástica medieval e com a Igreja, no renascimento e no surgimento da Física acontece no domínio da astronomia. Vimos que a principal herança grega na astronomia foi o sistema de Ptolomeu. Este sistema coloca a Terra no centro do universo com os planetas girando juntamente com o Sol a Lua em torno da Terra. Mas como é possível, com um tal sistema, dar conta da posição dos astros observados da Terra. Não nos esqueçamos, que desde a mais remota antiguidade, as civilizações observavam o movimento dos astros, e com muito mais cuidado e rigor os gregos também o fizeram. Como era possível encaixar os fatos observados em uma teoria como a de Ptolomeu e ainda por cima, atendendo a outro preconceito aristotélico, a saber, que todo movimento dos astros é circular? (porque o círculo para Aristóteles era a curva mais perfeita). Para conseguir isto Ptolomeu usou de um artifício: descreveu o movimento circular de um astro, mas supôs que o centro deste movimento também se movimentasse (sempre com



movimento circular) Não vamos entrar em detalhe sobre esta organização do movimento (que são os epiciclos e os deferentes), que se encontra na nossa referência (3). O fato é que através deste complicado sistema de epiciclos e deferentes, a teoria de Ptolomeu explicava, dentro dos limites de precisão das observações a partir do mundo antigo e no correr da Idade Média, o movimento observado dos astros. Era porém um sistema de enorme complexidade que estava reunido em uma fenomenal obra o “Almagesto” que dominou a astronomia por quase 2.000 anos. (Ptolomeu é do quarto século antes de Cristo).

No século XVI D.C. o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) propõe um outro sistema com o Sol no centro do sistema planetário e a Terra juntamente com os demais planetas girando em torno do Sol e a Lua girando em torno da Terra. É evidente que este sistema concordava muito mais facilmente com os dados da observação e assim representava uma extraordinária simplificação do complicado sistema de Ptolomeu. No sistema de Copérnico não havia necessidade dos epiciclos e deferentes para dar contas dos fatos observados (sempre dentro da precisão possível da época).

A Igreja se aferrava ao sistema de Ptolomeu, pois além do respeito pela tradição da escolástica que como vimos incorporava a cultura grega, tinha um argumento teológico importante a favor do sistema de Ptolomeu. Como poderia o homem, criação suprema de Deus, feito à sua imagem e semelhança ocupar outra posição no universo que não a do centro do mesmo. Era inconcebível para a Igreja da época, admitir que a criatura humana habitasse um simples planeta, igual a tantos outros e girando em torno do Sol. Dado o ambiente de repressão da época que descrevemos acima, Copérnico jamais publicou sua obra. Mas sua teoria, defendida por Galileu (1564-1642), passou a ser o emblema do estabelecimento da ciência moderna, tanto que alguns historiadores se referem à resolução copernicana.

Galileu foi um dos maiores gênios da humanidade e tem o merecido título de pai da Física. De fato foi o primeiro cientista que não somente fez Física como concebemos hoje esta ciência, como também formulou em que consistia esta nova ciência. Ele estabeleceu as bases da mecânica. Analisou o movimento dos corpos caindo, realizando suas famosas experiências de jogar objetos da torre de Pisa, contrariando a maneira de pensar da escolástica que continuando neste sentido, a tradição grega, jamais apelava para experiência. E chegou à conclusões inteiramente diversas das de Aristóteles. Mostra que, sem a resistência do ar, todos os corpos caem com a mesma velocidade, (aceleração constante). Deduz as equações horárias dos corpos em queda livre. Concebe também a inércia dos corpos na superfície da Terra, como fica evidente na sua obra *“Demonstrações Matemáticas em*

*torno de duas novas ciências*”, e só não generaliza uma lei de Inércia como a 1ª lei de Newton, porque não tendo idéia da lei de atração entre as massas, como Newton conceberia mais tarde, não podia entender porque os astros tinham uma órbita esférica, e não uma órbita retilínea como indicava a inércia na superfície da Terra. Mas Galileu concebeu que todo movimento é relativo, e que não existe um referencial privilegiado que pudesse ser considerado imóvel, como era a Terra para Aristóteles e Ptolomeu.

Galileu adaptou a luneta, que havia sido descoberta na Holanda, e de posse dela fez algumas descobertas importantes. Descobriu os satélites de Júpiter, viu as crateras da Lua, contrariando de novo Aristóteles que preconizava a perfeição dos céus (o mundo sublunar seria um mundo imperfeito corruptível), as manchas Solares, e os anéis de Saturno.

Galileu é considerado o pai da Física, porque além desta enorme revolução conceitual no estudo da natureza ele formulou claramente os princípios que orientaram todo seu trabalho, o que são os princípios que desde então passaram a caracterizar esta nova ciência que surge na Renascença e que é a disciplina científica que hoje chamamos Física. E ele a caracterizou da seguinte maneira: demonstrações Matemáticas e comprovação experimental. Para ele a natureza está escrita na linguagem Matemática. Em linguagem mais moderna, concebemos hoje uma teoria física, como um modelo, sobre o qual, por deduções Matemáticas chegamos a conseqüências que são as propriedades das grandezas físicas incluídas no modelo. A comprovação experimental vai nos dizer se este modelo (ou seja, esta teoria) está certa ou se precisa ser substituída por outra. Em essência o que acabamos de explicar nasce das colocações de Galileu.

Passemos a descrever a dramática luta entre Galileu e a Igreja Católica com seu apavorante instrumento de repressão: a Inquisição. Sendo Galileu o cientista que era, imediatamente reconheceu a superioridade da teoria de Copérnico com relação à de Ptolomeu. Mas já vimos os argumentos teológicos da Igreja a favor da teoria de Ptolomeu. Galileu conseguiu, porém, do papa, permissão para publicar uma defesa da teoria de Copérnico, encarando esta apenas como uma hipótese Matemática simplificadora e não uma descrição da realidade. Galileu publica então sua obra, *Diálogo* (1632) na qual defende a teoria de Copérnico. Alguns anos mais tarde, Galileu já tinha mais de sessenta anos, o papa que havia permitido a publicação da obra de Galileu, já havia morrido e sido substituído por um novo papa. Galileu é preso, passa quatro dias nas masmorras da Inquisição, e sob ameaça de tortura e morte na fogueira é obrigado a abjurar sua convicção na teoria corpenicana.

### **Abjurar-negar, sob juramento, uma afirmação.**

Galileu abjurou sua crença no movimento da Terra, mas consta que, muito teimoso, após abjurar, teria acrescentado “E pur si muove” (Entretanto está se movendo [a Terra]).

A moderna historiografia põe em dúvida esta lenda do “e pur si muove”, mas tem sido descoberto um heroísmo muito maior em Galileu. A Inquisição pretendia inicialmente que ele assinasse uma confissão dizendo que usara de má fé para obter a publicação de sua obra, e que era um falso cristão, tudo isto além de abjurar sua crença no movimento da Terra. Galileu, que era católico, inclusive com duas filhas como freiras, recusou-se a assinar tal confissão dizendo: “não assino, façam o que quiserem” A Inquisição, para a qual não seria muito político queimar vivo um cientista como Galileu, que na época já era famoso em todo mundo ocidental, contentou-se em exigir que Galileu negasse, sob juramento, o movimento da Terra.

Convém observar que Galileu era realmente católico e que não pretendia ao defender suas teorias sobre a Física, questionar a Igreja Católica. A oposição não foi entre a ciência e religião, mas entre ciência e a interpretação fundamentalista da Igreja da época.

**Fundamentalismo-interpretação falsa e equivocada da religião levando-a à um antagonismo com a ciência, com o progresso do mundo moderno e à posições políticas reacionárias e equivocadas. Modernamente usa-se para designar o fundamentalismo mulçumano (os Aiatolás, por exemplo), mas a origem da palavra está no fundamentalismo cristão.**

Galileu esteve quatro dias nas masmorras da inquisição, mas viveu o resto de sua vida em prisão domiciliar (como hóspede muito considerado de potentados da época), mas sem poder regressar a sua cidade e sem poder reencontrar jamais uma filha muito querida, que o ajudava na compilação de suas obras. As obras de Galileu foram colocadas no índice da Igreja e o processo contra Galileu, só foi revisto há cerca de quinze anos, já no papado de João Paulo II, reconhecendo-se finalmente que Galileu estava certo e seus juízes equivocados.

### **Index - relação das obras proibidas pela Igreja**

A luta deste gênio da ciência, o pai da Física, contra a Igreja ficou para sempre como o símbolo maior da luta pela liberdade de pensamento.

### **Newton e a primeira grande síntese em Física**

Tendo visto as fundamentais contribuições metodológico-filosóficas de Descartes, o significado da revolução copernicana, e o nascimento da Física, no seu sentido moderno, com Galileu, estamos em condições de abordar a obra de Newton e explicar porque ela é considerada a primeira grande síntese da Física.

Temos que voltar ao problema astronômico. Apesar de toda a perseguição da Igreja, desde meados do século XVII, e devido principalmente à importante defesa de Galileu, o sistema heliocêntrico, já era admitido em toda Europa.

### **Heliocêntrico-sistema que coloca o Sol como centro do nosso sistema planetário.**

No final do século XVI o astrônomo dinamarquês Ticho Brahe (1546-1601) inicia uma série de medidas muito mais precisas do que tudo que tinha sido feito até então, sobre o movimento planetário. Mesmo realizando suas observações a olho nu, Ticho Brahe construiu toda uma aparelhagem para medir com exatidão os ângulos, criando um verdadeiro observatório com apoio do rei da Dinamarca. Ele propôs um sistema alternativo ao de Copérnico, com os planetas girando em torno do Sol e este girando em torno da Terra. O sistema de Ticho Brahe não teve grande influência, mas suas medidas, de precisão ímpar para a época foram cuidadosamente estudadas por um outro grande astrônomo Johannes Kepler (1571-1630). Estudando o movimento do planeta Marte, dentro da teoria de Copérnico, baseado nas observações de Ticho Brahe, Kepler verificou que era impossível evitar um erro global no ângulo da posição do planeta de cerca de 8 minutos (um minuto corresponde à 1/60 de graus), Kepler sabia, e confiava que a precisão das medidas angulares de Ticho Brahe era de 2 minutos. Então profere sua célebre frase: “Na base destes oito minutos posso construir uma nova teoria do universo”. Kepler dá então um passo de grande ousadia: abandona a idéia de órbitas circulares para tentar órbitas elípticas para o movimento dos planetas. Só podemos ter uma idéia da importância deste passo de Kepler, se tivermos presente a força, ainda no final do século XVI, dos preconceitos aristotélicos. Independentemente da intolerância dogmática da igreja, e de seu terrível aparelho repressor, a Inquisição, muitas das idéias da escolástica ainda eram aceitas

por grandes pensadores. A idéia em particular, da perfeição dos céus e das órbitas circulares serem a forma mais adequada e esta perfeição ainda tinha muito peso para Kepler que era uma pessoa dotada de temperamento místico. Daí a coragem, e o enorme espírito científico de Kepler, para, abandonando o preconceito procurar novas hipóteses e construir novas teorias capazes de explicar os fatos. Com isto Kepler acabou chegando, depois de uma vida de dedicação, às suas três célebres leis. Pela primeira lei o Sol ocupa o foco de uma elipse que é a órbita do planeta. A segunda e terceira leis, as quais ele chega após inúmeras e equivocadas tentativas, relacionam a velocidade de translação do planeta à distância ao Sol (A velocidade do planeta é maior quando ele está mais próximo do Sol). Veremos com detalhe estas leis em nosso curso e veremos também como elas foram de fundamental importância, na dedução por Newton de sua célebre lei da gravitação universal. Aliás, a dedução exata feita por Newton de sua célebre lei de atração entre as massas, a partir das leis Kepler, é o assunto de nossa décima e última aula. Apresentaremos esta dedução tanto na linguagem geométrica, como Newton escreveu, quanto usando a linguagem do cálculo diferencial e integral inventados por Newton e Leibnitz.

Chegamos então finalmente ao que chamamos de primeira grande síntese da Física, a Mecânica Newtoniana e a Teoria da Gravitação.

Em 1686, Isaac Newton (1642-1727) publica aquele que é considerado por muitos, o mais importante livro da história da ciência; em latim: *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* (Princípios matemáticos da filosofia natural). Com sua Mecânica, cuja base ele estabelece nas suas três famosas leis, e com a teoria da gravitação, ele sintetiza e resolve em uma teoria completa, todo o problema do movimento, incluindo aí a cinemática, que é o estudo do movimento em si e a dinâmica que é o movimento e suas causas. E este movimento e suas causas, abrange tanto o movimento dos corpos que podemos observar na Terra (como o movimento de projéteis) quanto o movimento dos corpos celestes, planetas e seus satélites, cometas, enfim toda a observação do céu que a humanidade vinha efetuando há milhares de anos.

E esta grande síntese da Mecânica e Teoria da Gravitação unindo em uma única e simples fórmula tudo que acontece nos céus e na Terra, derruba definitivamente o preconceito da escolástica sobre a distinção entre o mundo sub-lunar (imperfeito) e o céu perfeito.

Para chegar das três leis de Kepler, à sua fórmula da atração entre as massas ( $F = G Mm/r^2$  onde  $M$  é a massa de um corpo,  $m$ , do outro,  $r$  a distância entre eles e  $G$  um constante de proporcionalidade) Newton teve que aperfeiçoar, diríamos melhor, quase

criar, o ferramental matemático do Cálculo Integral e Diferencial. Isto foi feito ao mesmo tempo e de maneira independente por um outro grande pensador da época, o alemão Leibnitz (que se pronuncia Láibnits)

Naturalmente Newton não tirou tudo isto do nada. Como vimos Galileu já havia lançado as bases da mecânica. O próprio Newton reconhece isto quando diz “se pude ver um pouco mais longe é porque estava montado em ombros de gigantes” Está aí se referindo à Kepler, Galileu e Descartes cuja metodologia científica influenciou muito Newton.

A Mecânica newtoniana é o assunto deste nosso curso. Vamos então nos limitar nesta introdução e estes poucos comentários sobre a obra de Newton. Na realidade ela é muito mais vasta e ele deu contribuições fundamentais em muitas outras áreas entre os quais não podemos deixar de mencionar a Ótica.

A Mecânica newtoniana, sua teoria da gravitação bem como a Matemática subjacente o Cálculo Diferencial e Integral, se tornaram o modelo básico de toda elaboração científica durante os séculos XVIII e XIX, e as premissas básicas da elaboração da Física nos dois séculos mencionados. A teoria newtoniana só é superada no início do século XX pela teoria da Relatividade (Geral e Especial) e pela Mecânica Quântica. Ainda assim ela se matem como um caso particular, válido para velocidades muito pequenas quando comparadas à velocidade da luz, e para massas muito grandes quando comparadas as massas de partículas atômicas ou subatômicas. Como muito bem colocou Einstein “Newton estabeleceu um programa de pesquisa em Física de 200 anos” E Einstein tem ainda outra frase que se aplica a mecânica newtoniana e sua teoria da gravitação. “Que melhor destino para uma teoria, que ser incorporadas como caso particular de uma teoria mais geral?”.

## **RESUMO**

Neste primeiro capítulo fizemos um apanhado das principais idéias e contribuições que levaram à constituição de disciplina científica que hoje chamamos de Física.

Iniciamos nosso apanhado com os filósofos da natureza, os pré-Socráticos, da Grécia antiga. Estes filósofos construíram suas teorias dentro do pensamento racional. Este pensamento foi caracterizado como o pensamento que se opõe ao pensamento mágico, às lendas, à tradição e ao sobrenatural. Vimos como este pensamento procura explicações dos fenômenos por suas causas naturais, pela observação dos fatos. Este pensamento (o pensamento racional) procura argumentos para convencer os outros de suas conclusões

sem recorrer ao autoritarismo e à imposição. Vimos que a relativa democracia das cidades gregas é que propiciou o nascimento deste tipo de pensamento.

Então o surgimento do pensamento racional é uma primeira e fundamental contribuição da Grécia antiga para a constituição das ciências. A outra enorme contribuição é o raciocínio axiomático trazido pela geometria grega. Este raciocínio consiste em, partindo de axiomas e postulados tomados como verdades evidentes, obter por dedução lógica, outras propriedades que são desta maneira demonstradas. A geometria de Euclides é o livro por excelência onde o pensamento axiomático encontra sua forma elaborada.

As maiores contribuições da Grécia antiga estão no domínio da Matemática e da astronomia não tem, tirando a figura de Arquimedes, maiores contribuições na Física propriamente dita, porque lhes faltava o recurso à experiência.

Anexada a Grécia ao Império Romano, a cultura grega se espalha por boa parte do que hoje chamamos de Europa.

Com a queda do Império Romano, iniciou-se a Idade Média que vai até a queda de Constantinopla dominada pelos Turcos (1453 D.C). No período medieval a cultura grega se conservava por um lado nos mosteiros e conventos, em uma mescla da filosofia grega com o cristianismo-a escolástica e por outro lado através da cultura do mundo islâmico. Estes são grandemente influenciados pela cultura grega e além disto trazem para a ciência e para a Matemática duas enormes contribuições: os algarismos arábicos e a álgebra.

O final das Idade Média desemboca na Renascença, que é um novo período de florescimento das ciências e das artes.

A antiga cultura grega estratificada na escolástica e defendida pelo poder dogmático da Igreja com seu terrível aparelho de repressão, a Inquisição acaba se tornando um entrave ao desenvolvimento da ciência. Galileu, considerado o pai da Física, lança as bases da mecânica e defende o sistema de Copérnico que tem o Sol no centro sistema planetário em oposição ao sistema de Ptolomeu com a Terra no centro e o Sol e os planetas girando em torno dela.. Galileu é obrigado abjurar de suas convicções.

Temos ainda as enormes contribuições filosófico-metodológicas de René Descartes, as medidas astronômicas de extraordinária precisão de Ticho Brahe que embasam as famosas três leis de Kepler, para tudo isto desaguar na grande síntese newtoniana, estabelecendo no seu livro Princípios Matemáticos da Filosofia Natural uma grande e completa teoria acabada, da Mecânica e da Teoria da Gravitação. A obra de Newton lança as bases de toda a ciência moderna.

## CONCLUSÃO

Dissemos na Introdução, que a razão de ser desta primeira aula, não é simplesmente um complemento cultural. Deste apanhado histórico, se bem compreendido, pode-se tirar importantes conseqüências, para os alunos, para os tutores e para os professores, de como abordar a Física, como estudá-la e como organizar seu ensino. Vamos, neste apêndice, apontar estas conseqüências.

### 1 ABORDAGEM CRÍTICA DA MATÉRIA

Vimos que o pensamento científico só floresceu desde sua origem na Grécia antiga, em um clima de liberdade. Em um clima em que o saber não se passa por argumentos de autoridade e de tradição, mas sim quando as pessoas têm a liberdade de criticar e mesmo discordar daquilo que estão aprendendo.

Então esta deve ser também a postura do estudante de Física. Ele não deve de imediato aceitar tudo que lhe ensinam, sem antes passar pela peneira da crítica. Mas aí vocês podem nos perguntar. Mas como podemos criticar a mecânica newtoniana, que é uma disciplina complementemente estabelecida? Na verdade Einstein, pela Relatividade e os físicos quânticos trouxeram uma crítica à mecânica newtoniana, mas esta crítica já está feita e a ciência progrediu. Como pedir que cada aluno faça uma leitura crítica da mecânica newtoniana?

Aí é necessário entender o que se pode pretender desta leitura crítica. A mecânica newtoniana está de fato estabelecida, mas isto não quer dizer que os livros que expõe o assunto não possam ter erros, ou alguns pontos mal explicados. Neste sentido os alunos podem fazer uma crítica que é frequentemente muito útil. É comum os autores organizarem uma outra edição melhorada de sua obra, e no prefácio agradecerem à alguns alunos que apresentaram interessantes críticas (bem, na verdade isto é mais comum na Europa e nos Estado Unidos).

Mas em primeiro lugar, e esta é para os alunos a conseqüência mais importante que se deve tirar deste apanhado histórico, é fazer uma leitura crítica para si mesmo. Isto significa, não aceitar nada como um argumento de autoridade, porque está escrito no livro, porque o professor disse, ou porque “tenho que responder isto na prova” mas sim, sempre se perguntar a si próprio: estou realmente entendendo? E o que é estar realmente entendendo? É se perguntar: este fato está realmente claro para mim? Sou capaz de deduzi-lo partindo das definições, ou dos postulados? Conheço estas definições e estes postulados? Muitas vezes um assunto está claramente exposto, mas o aluno não entende por falta de



pré-requisitos. Neste caso ele tem que ir atrás deste conhecimento anterior, possivelmente pedindo socorro aos tutores ao professor do curso. Mas não deve nunca aceitar as coisas passivamente, sem saber de onde saíram, sem saber como deduzi-los.

Infelizmente a organização dos estudos no sistema tradicional não beneficia este tipo de comportamento crítico do aluno, e pelo contrário, estimula este comportamento como veremos no próximo tópico.

## **2 AS AVALIAÇÕES E OS ESPAÇOS DO ERRO**

Observemos que no ensino tradicional, não existe espaço para erro. Se é cobrada uma lista de problemas, o professor quer receber os problemas corretamente resolvidos e vai eventualmente atribuir uma nota em função do grau de acerto. Nas provas igualmente, a nota é proporcional à porcentagem de acertos. Mas é possível que alguém que está começando a estudar uma matéria resolva todas as questões propostas sem cometer erros? Se ele pensar por si mesmo certamente vai cometê-los, e assim a única maneira de não errar é buscar as respostas prontas em algum lugar.

Mas o erro é elemento fundamental na construção livre de qualquer conhecimento-seja o conhecimento da humanidade que se desenvolveu em uma sucessão de erros, quando uma teoria é substituída por outra-seja o conhecimento individual em que a compreensão vem da correção dos erros. É tentado raciocinar por si próprio, errando, compreendendo o motivo do erro e corrigindo-o, que se aprende.

Tudo isto nos remete ao nosso sistema de avaliação. Segundo a boa pedagogia, uma avaliação não deve levar à uma premiação ou a um castigo (a boa nota e a aprovação ou a má nota e a reprovação) mas deve proporcionar uma informação, tanto para o aluno quanto para o professor, daquilo que já foi aprendido, e daquilo que ainda sobra por aprender. Não é o que acontece nas nossas avaliações tradicionais. Dada a nota, dificilmente o aluno vai se interessar por aprender aquilo que não fez ou errou na prova, porque na próxima avaliação este conteúdo já foi superado. Isto, muito embora, ele e seu professor saibam que em um processo de construção do conhecimento, como na Física, em um processo em que as propriedades são deduzidas umas das outras, uma lacuna importante em um conteúdo vai significar muito provavelmente, uma impossibilidade para compreender os conteúdos posteriores.

Por isto no nosso curso, vamos recuperar o verdadeiro sentido da avaliação. Como? Feita a avaliação, será atribuída uma nota apenas provisória. Para cada questão da avaliação será passado para a classe um certo número de problemas correspondentes a cada

questão, que são problemas análogos. Uma semana depois o aluno fará outra avaliação, corrigindo o que errou na primeira. Por exemplo, se ele errou a segunda questão da primeira avaliação, ele preparará os problemas correspondentes à esta segunda questão, e na avaliação de correção vai cair um destes problemas. Ele pode corrigir quantas questões quiser de sua primeira avaliação. Observemos que esta prova de correção é muito mais fácil que uma segunda prova substitutiva às vezes usada no sistema convencional. Isto porque ela é limitada especificamente a certo número de problemas (naqueles que o aluno errou na 1ª avaliação, ou um certo número de problemas do mesmo tipo). Com isto o seu conteúdo é muito menor que o conteúdo de uma substitutiva que em geral abrange toda a matéria. Mas só terá direito a esta prova de correção os alunos que realizarem 85% das atividades semanais previstas. Realizar as atividades semanais não significa entregar (ou mandar pelo computador), listas de problemas passados corretamente resolvidos, mas sim trazer aos tutores presenciais, semanalmente suas dúvidas e dificuldades, sobre **todos** os problemas passados.

### **3 A MAÊUTICA SOCRÁTICA OU A EDUCAÇÃO CENTRADA NO ALUNO**

Vimos que Sócrates, na Grécia antiga, tinha um processo de dialogar com as pessoas, levando elas mesmas a elaborarem seus raciocínios e chegaram as suas próprias conclusões. Esta forma de “ensinar” ficou conhecida como a maêutica, e na verdade, ao longo dos tempos, os grandes pedagogos construíram variações desta maêutica socrática. Por exemplo Karl Rogers criou o conceito da Educação Centrada no Aluno. O que é a educação centrada no aluno? É quando, uma vez que o aluno já tenha os conhecimentos básicos para enfrentar um dado problema (conhecimento estudado no livro e recebido em uma aula, por exemplo, pelo computador) não é professor que vai mostrar ao aluno como fazer o problema, nem o tutor. Mas sim, o aluno, no curso da tutoria presencial semanal, é que vai explicar o que pensou sobre o problema. A função do tutor é escutar e acompanhar o raciocínio do aluno. E se o aluno não chegou a resolver completamente a questão, ou mesmo cometeu possíveis enganos, a função do tutor não é terminar o problema ou corrigir os enganos, mas levantar questões que respondidas pelos alunos, os ajudem a encontrar a Solução ou a descobrir seu erro e corrigi-lo. Ninguém aprende vendo o outro fazer, ou ouvindo a Solução. Se aprende pensando e sabendo construir por si mesmo a Solução.

Não esperem os alunos de seus tutores, neste curso, a resposta pronta de suas dúvidas e dificuldades. Mas podem contar com alguém disposto a ouvi-los e ajudá-los a por si mesmo encontrarem a resposta. Isto vale tanto para os tutores presenciais, quanto para os tutores à distância.

Aplicar o método socrático pode não ser tão fácil. Às vezes é mais fácil resolver um problema para o aluno que procurar seguir seu raciocínio e ajudá-lo a pensar. Por isto esperamos que neste curso possamos ter freqüente contato com os tutores para ajudá-los em seu trabalho.

#### **4 PRINCÍPIOS MATEMÁTICOS DA FILOSOFIA NATURAL**

O nome da extraordinária obra de Newton, que marcou para sempre a ciência moderna, mostra o quanto a Matemática e a Física estão unidas. A Física é matematização da natureza. O estudo de ambas vem junto. Mas durante muito tempo isto não aconteceu. As pessoas começavam um estudo de Física, na universidade exatamente pela Física A que é a Mecânica newtoniana sem conhecerem nada de Cálculo Integral e Diferencial. Muitos textos, mesmo bons textos clássicos, foram escritos com esta premissa. Mas se Newton teve que inventar o cálculo para formular sua mecânica, como ensinar a mecânica sem o cálculo integral e diferencial?

Felizmente na UFS temos um semestre de Cálculo I (que é o cálculo diferencial e integral) antes que o aluno comece a disciplina Física I. E como o currículo da Universidade Aberta é o currículo da UFS, vocês alunos da UAB vão também se aproveitar desta condição.

Mas isto não é suficiente, pois frequentemente o Cálculo I que se estuda no Departamento de Matemática, acaba sendo de pouca utilidade para a Física. Isto porque como vimos a Matemática é construída com um sistema axiomático. Mas a origem deste sistema está na observação e na adequação dele aos fatos da natureza. Muitas vezes, porém as Matemáticas não gostam de mostrar esta inspiração da Matemática na natureza (ou seja, na Física) e prezam mais a lógica das deduções Matemáticas. Abordado sob este prisma, não fica de maneira nenhuma claro para o aluno, como este complicado ferramental lógico-dedutivo pode ser aplicado à Solução de problemas de Física.

Felizmente muitas obras mais modernas principalmente de Cálculo, mas também de Física vem se dando conta deste problema e vão tentando unir as duas disciplinas. Este livro vai nesta linha. Examinamos os conceitos fundamentais do Cálculo Integral e

Diferencial, partindo de sua inspiração na Física e mostrando sempre sua aplicação, que aí então aparece muito naturalmente, aos problemas de Física. Assim explicamos os conceitos de limite e derivada estudando a questão da definição de velocidade instantânea; resolvemos os problemas de cinemática com o uso intensivo de integrais; definimos os conceitos de energia potencial e campo conservativo fazendo os alunos dominarem as técnicas de integral de linha e os operadores diferenciais vetoriais; usamos integrais no cálculo de centros de massa e na determinação de momentos de inércia, ou seja, escrevemos um curso universitário de mecânica, aparelhados e explicando o ferramental criado por Newton.

## **5 MECÂNICA E A TEORIA DA GRAVITAÇÃO**

A grande síntese newtoniana que mostramos no texto e que está na obra já tantas vezes citada-Princípios Matemáticos...-engloba a Mecânica e a Teoria da Gravitação. Ambas estão indissoluvelmente ligadas nesta grande teoria. Já vimos como Galileu não formulou uma lei da inércia porque não tendo idéia de uma ação à distância, não podia compreender a órbita circular dos astros. Além disto, como compreender a aceleração da gravidade na superfície da Terra, que Galileu já medira tão bem, sem a teoria da gravitação? Como calcular teoricamente esta aceleração?

Um programa de Física A que pretenda apresentar a mecânica de Newton tem que incluir a Teoria da Gravitação. Infelizmente esta não é a ementa de Física A do curso da UFS, pois estes não contem a teoria da gravitação. O nosso livro corrige este grave equívoco. A décima aula é toda ela dedicada à teoria da gravitação.

### **ATIVIDADES**

1 - Quais são as duas importantes e fundamentais contribuições da Grécia antiga para a construção das ciências?

2 - Em que consiste o pensamento racional, e quais as causas sociais de seu aparecimento?

3 - Em que consiste o método axiomático da geometria?

4 - Quais as idéias de Pitágoras, e qual sua importância (das idéias) para o que hoje entendemos por Física?

5 - Descreva as idéias de Demócrito?

6 - Em que disciplinas científicas, mais se destacaram os gregos? Explique as razões sociais deste fato?

7 - Na Idade Média, como foi preservada a filosofia da antiguidade grega?

8 - O que é a escolástica? Quais os dois grandes nomes que deram as maiores contribuições para a escolástica?

9 - Quais as contribuições dos árabes no período medieval?

10 - Explique porque a escolástica, que de alguma maneira incorpora o racionalismo grego, passou a ser um obstáculo ao desenvolvimento científico do fim da Idade Média.

11 - Comente o papel da Igreja e o que foi a Inquisição.

12 - Qual o sistema astronômico de Copérnico, a quem ele se opunha e porque falamos de “Revolução Copernicana”

13 - Comente o papel de Descartes para toda cultura ocidental, suas idéias, e sua contribuição para a Física.

14 - Comente o papel e a contribuição de Galileu para a Física, sua luta contra o dogmatismo da Igreja, e porque ele é chamado de pai da Física.

15 - Explique as contribuições de Ticho Brahe e Kepler

16 - Em que consistiu a chamada “Primeira grande síntese da Física” de Isaac Newton.

Questão sobre a conclusão.

17 - Você tem estudado com esta consciência crítica (para com você mesmo) que descrevemos? Você concorda com a importância desta maneira de estudar? Você acha possível fazer este curso estudando assim?

Questão sobre o tópico 2

18 - Você já foi submetido à um sistema de avaliação como descrevemos? Você acha bom este sistema? (ou seja, com a possibilidade de fazer uma segunda avaliação somente corrigindo as questões da primeira, e tendo a nota final atribuída considerando o que foi corrigido)

**Observação:** Ao responder as questões, procure fazê-lo com suas próprias palavras sem reproduzir literalmente o texto.

Nas questões 17 e 18, sinta-se livre e a vontade para responder com total sinceridade

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1-Chaui, M.-Introdução à História da Filosofia, Editora Brasiliense, 1994.
- 2-Russel, B.-História da Filosofia Ocidental.
- 3-Duran, W.-História Universal.