Universidade Católica de Brasília

Pró-Reitoria de Graduação
Escola de Exatas, Arquitetura e Meio Ambiente
Curso Física
Trabalho de Conclusão de Curso

TEOREMA π DE BUCKINGHAM E EXEMPLOS DE SUA APLICAÇÃO

Autora: Carolina Borges Miranda
Orientador: Prof. Dr. Thiago Borduqui

Brasília - DF
2017

CAROLINA BORGES MIRANDA

TEOREMA π DE BUCKINGHAM E EXEMPLOS DE SUA APLICAÇÃO

Monografia apresentada ao curso de graduação em Física da Universidade Católica de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Borduqui

Brasília – DF
2017

Universidade Católica de Brasília

FOLHA DE APROVAÇÃO TCC

Monografia de autoria de **CAROLINA BORGES MIRANDA**, intitulada "**EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DO TEOREMA Π DE BUCKINGHAM**", apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciada em Física da Universidade Católica de Brasília, em 03 de fevereiro de 2017, defendida e APROVADA, com nota 7,00, pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Thiago Borduqui Ferrari
Orientador
Licenciatura em Física – UCB

Prof. Dr. Diego Oliveira Nolasco da Silva
Licenciatura em Física – UCB

Prof. MSc. Cleber Alves da Costa
Licenciatura em Física – UCB

BRASÍLIA
2017

Carolina Borges Miranda, Thiago Borduqui

Curso de Física - Universidade Católica de Brasília

Resumo: O Teorema π de Buckingham consiste em um formalismo para tratar grandezas físicas e suas dimensões no processo de modelagem matemática. Apesar da relevância deste tópico, existem poucas referências disponíveis, em Língua Portuguesa, sobre o assunto. A fim de enriquecer esta literatura, o objetivo deste estudo foi produzir um texto apresentando o teorema – evidenciando sua importância – e trazer diversos exemplos, aplicados em variadas áreas da Física, a fim de ilustrar sua utilização. A metodologia do estudo consistiu de (i) revisão literária e do (ii) desenvolvimento de exemplos.

Palavras-chave: Análise dimensional. Grandezas físicas. Teorema Pi de Buckingham.

Abstract: The Buckingham π Theorem consists in a formal method for treating physical quantities and their dimensions in the mathematical modeling process. Despite the relevance of this topic, there are few references available in Portuguese on the subject. In order to enrich this literature, the objective of this study was to produce a text presenting the theorem - evidencing its importance - and bringing several examples, applied in various areas of Physics, in order to illustrate its use. The methodology of the study consisted of (i) literary review and (ii) development of examples.

Keywords: Dimensional analysis. Physical quantities. Pi Buckingham Theorem.

1. Introdução

Fazer um modelo teórico consiste em se descrever um sistema físico utilizando certos formalismos matemáticos. Desta maneira "tratam-se as grandezas físicas de modo algébrico, e empregam-se unidades de medidas arbitrárias, impedindo erros de conversão ou medidas sem sentido físico" (MARTINS, 2008 *apud* MAIOR, 2014, p. 1).

Em 1914, Edgar Buckingham publica um artigo no periódico *Physical Review Letters* (BUCKINGHAM, 1914), com a prova da forma generalizada de um teorema que acabou ficando conhecido como o teorema π de Buckingham[1]. Apesar da notoriedade de Buckingham, o próprio autor, em seu artigo de 1914, faz referência a diversos autores que trataram de diferentes aspectos do teorema, anteriormente a publicação do artigo, sendo que, por vezes, o teorema é conhecido também por Teorema de Buckingham-Bertrand, ou Buckingham-Vaschy.

[1] A letra grega π foi utilizada pois Buckingham, no artigo de 1914, atribui esta letra aos fatores adimensionais, de fundamental importância para o desenvolvimento algébrico.

O teorema estabelece uma equivalência entre qualquer relação entre grandezas físicas com um corpo algébrico (HANCHE-OLSEN, 2004), e seu desenvolvimento está baseado em uma metodologia de determinação de grupos adimensionais (ou como chamados por Buckingham, fatores π). Assim é possível que se faça a análise dimensional dos modelos teóricos, que serve como uma ferramenta de validação do modelo, além de possibilitar uma análise da relação funcional entre as grandezas envolvidas no sistema.

Apesar da importância reconhecida do tópico, considerando tanto aspectos filosóficos como pedagógicos, ainda se é pouco divulgado em língua portuguesa, carecendo de fundamentação teórica, e notavelmente de exemplos ilustrativos.

Neste trabalho será apresentado o Teorema π de Buckingham, abordando-se na forma de tópicos os principais conceitos relacionados ao tema. Serão tratados, na seguinte ordem – (*i*) Grandezas, (*ii*) Análise Dimensional, (*iii*) Teorema π de Buckingham, (*iv*) serão apresentados diversos exemplos de modelos, aplicados em variadas áreas da Física, a fim de ilustrar sua utilização.

2. Grandezas

2.1 Grandezas Físicas

Encontra-se a definição do conceito de grandeza física com algumas variações de acordo com diferentes autores. Para Young (2008, p. 4), em um livro comumente utilizado nos cursos de graduação em Física, grandeza é "*qualquer número usado para descrever quantitativamente um fenômeno físico*". Segundo Trancanelli (2015, p.1), em um artigo da Revista Brasileira de Ensino de Física, grandeza é "*usada para descrever os fenômenos ou propriedades de sistemas e são caracterizadas por dimensões como, por exemplo, massa, força ou energia*". De acordo com Gaspar (2002, p. 18) e Tavares (2014, p. 13) "*é tudo o que pode ser medido*". Outras definições, todas com suas respectivas variações são também anotadas a partir de aulas e outros registros verbais como para o professor Dr. Chaib (informação verbal)[2] "*qualidades quantificáveis do sistema que, uma vez definido o padrão, o valor independe da sociedade onde está*", ou segundo o professor MsC. Cleber (informação

[2] Informação obtida em conversa com o professor Dr. João Paulo Martins de Castro Chaib

verbal)[3] "*pode ser mensurada por um valor numérico ou um valor seguido de uma unidade de medida em um sistema de unidades e algumas delas têm denominação vetorial*".

Apesar das variações, uma reflexão com base nas definições mostradas acima aponta algumas características essenciais deste conceito que destacamos a seguir. A definição de grandeza física está atrelada a possibilidade de medida. Desta maneira, está ligada a possibilidade de se **definir um padrão quantificável**, ainda que arbitrário, a qualquer componente de um sistema considerado.

2.2 Grandezas fundamentais e as derivadas

Segundo Rozenberg (2006) as grandezas fundamentais (ou primitivas) são definidas de modo arbitrário, porém, não podendo existir nenhuma relação entre ela e outra já conhecida. As grandezas fundamentais são três para o sistema gaussiano: a massa (indicada pela letra M), o comprimento (indicado pela letra L – do termo em inglês para comprimento - lenght) e o tempo (indicado pela letra T). Já no sistema internacional de unidades (SI) são consideradas sete primitivas, que são as três do sistema gaussiano mais a intensidade de corrente (A), temperatura termodinâmica (K), intensidade luminosa (I) e a quantidade de matéria (n) (HALLIDAY *et al.*, 1996 *apud* MAIOR).

A partir dessas grandezas fundamentais são definidas as grandezas derivadas, que segundo Rozenberg (2006), são combinações de unidades de base seguindo relações algébricas de produtos e/ou quocientes, interligando-se com as correspondentes grandezas.

2.3 Unidades de medidas e representação das Unidades Dimensionais

Segundo Tipler (2000, p. 3) uma unidade de medida é uma grandeza física com uma magnitude[4] particular, que foi definida e adotada por uma convenção. Outra grandeza do mesmo tipo é comparada ao padrão para expressar uma relação numérica, de proporcionalidade, entre elas.

Desta maneira, para cada dimensão possível de ser definida, existe uma unidade correspondente. Por exemplo, para as grandezas do sistema gaussiano, as respectivas

---

[3] Informação obtida em conversa com o professor MsC.. Cleber Alves da Costa

[4] Devido a diferente natureza de cada grandeza, o termo magnitude pode ser substituído por algum mais adequado (entre os quais se incluem duração, intensidade, tamanho e outros).

unidades são: para a grandeza massa, define-se o quilograma; para o comprimento define-se o metro; e para o tempo define-se o segundo. As unidades tem diversos padrões para sua representação, como por exemplo (i) pode-se utilizar múltiplos e sub-múltiplos de acordo com a conveniência, (ii) existem símbolos associados ao nome da unidade, sempre minúsculos – como por exemplo *m* é o símbolo da unidade metro, *kg* é associado ao quilograma e *s* para o segundo – com exceção daquelas advindas de nomes próprios – como por exemplo *K* associado a unidade Kelvin, ou *A* para Ampère – (iii) devem ser escritos um espaço de distância após o número que carrega a informação da proporcionalidade com a grandeza padrão (TIPLER, 2000).

Quando for necessário representar a dimensão de uma unidade de medida, deve-se associar um valor numérico e suas grandezas, por outro lado, na análise dimensional o que importa são as grandezas e elas devem ser representadas entre colchetes.

3. Análise Dimensional

Segundo Trancanelli (2015) a análise dimensional é a possibilidade de determinar como uma certa grandeza irá depender de outras em um problema, isto é, prever o comportamento das grandezas existentes, é um meio de facilitar/simplificar a resolução de problemas, tendo como base o agrupamento de variáveis em uma nova variável adimensional para simplificar a análise. Desta forma, a análise permite a simplificação de problemas, pois ajuda a compreender quais as grandezas relevantes para o problema abordado, desenvolver a intuição física, detectar erros.

Ainda de acordo com Trancanelli (2015, p. 5), o pré-requisito da análise dimensional é o conhecimento da homogeneidade dimensional (BUCKINGHAM, 1914), isto é, todos os termos da equação têm que estar na mesma dimensão. Segundo Tipler (2000, p. 5) qualquer que seja a grandeza de medida física, terá unidade e número, que nas operações (soma, diferença, produto, quociente) têm as unidades tratadas como qualquer grandeza algébrica. Desta forma, os fatores de conversão têm valor 1 (sem dimensão), permitindo assim a conversão entre escalas.

4. Teorema π de Buckingham

Maior (2014, p.5) classifica o Teorema π de Buckingham como um dos teoremas centrais dentro da análise dimensional, por permitir a simplificação de um problema, ao reduzir uma grandeza que possui diversas variáveis a um grupo de variáveis auxiliares.

Assim, o enunciado de π de Buckingham, determina que ao fazer a análise dimensional de uma grandeza, de função f de n variáveis, executa-se o processo em uma função g de n-k variáveis, sendo k o número de grandezas fundamentais do sistema.

Assim, o processo deve seguir as seguintes etapas (MAIOR, 2014):

1) Enumerar as 'n' variáveis que descrevem o problema, normalmente são dadas já que se requerem de experiência e de conhecimento do problema;
2) Selecionar uma quantidade de dimensões de referência (3 para os exemplos que seguiremos, considerando massa, espaço e tempo);
3) Decompor as variáveis em suas dimensões de referência (ver tabela 1);
4) Determinar a quantidade de fatores π utilizando a relação π = n – 3;
    a. Escolher as variáveis de referência, devem ser iguais a quantidade de dimensões de referência.
    b. Essas variáveis devem ser independentes entre si.
5) Estabelecer as equações dimensionais de acordo com o método apresentado com os exemplos;

Tabela 1 – Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	**Unidades (símbolos)**	**[L]**	**[M]**	**[T]**
Distância	m	1	0	0
Velocidade	m/s	1	0	-1

5. Outros exemplos de aplicação do Teorema π de Buckingham

5.1 Pêndulo físico

Variáveis: momento de inércia (*I*), massa do pêndulo (*M*), aceleração gravitacional (*g*), tamanho do pêndulo (*D*)

Base: [L] [M] [T]

$$\pi = 4 - 3 = 1 \tag{1}$$

Tabela 2 – Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	Unidades	[L]	[M]	[T]
I	$Kg.m^2$	2	1	0
M	Kg	0	1	0
g	$m/_{s^2}$	1	0	-2
D	m	1	0	0

Variáveis de referência: D, M, g

$$\text{Det} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -2 \end{vmatrix} = 2$$

As variáveis são linearmente independentes

$$\pi = D^a.M^b.g^c.I \tag{2}$$

$$[\,L\,] = a + 0 + 0 + 2 = 0 \tag{3}$$

$$[\,M\,] = 0 + b + 0 + 1 = 0 \tag{4}$$

$$[\,T\,] = 0 + 0 - 2c + 0 = 0 \tag{5}$$

$$a = -2$$

$$b = -1$$

$$c = 0$$

$$\pi = \frac{I}{D^2.M} \tag{6}$$

5.2 Energia mecânica

Variáveis: Massa (m), velocidade (v), gravidade (g), altura (h)

Dimensões de referência: [L] [M] [T]

$$\pi = 4 - 3 = 1 \tag{7}$$

Tabela 3 – Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	Unidades	[L]	[M]	[T]
m	Kg	0	1	0
v	m/s	1	0	-1
g	m/s^2	1	0	-2
h	m	1	0	0

Variáveis de referência: m, v, h

$$\text{Det} \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -2 \end{vmatrix} = 1$$

As variáveis são linearmente independentes

$$\pi = m^a . v^b . h^c . g \tag{8}$$

$$[\, L \,] = 0 + b + c + 1 = 0 \tag{9}$$

$$[\, M \,] = a + 0 + 0 + 0 = 0 \tag{10}$$

$$[\, T \,] = 0 - b + 0 - 2 = 0 \tag{11}$$

$$a = 0$$

$$b = 2$$

$$c = -3$$

$$\pi = \frac{v^2 . g}{h^3} \tag{12}$$

5.3 Bernoulli

Variáveis: Pressão (p), gravidade (g), altura (y), velocidade (v), densidade (ρ)

Dimensões de referência: [L] [M] [T]

$$\pi = 5 - 3 = 2 \tag{13}$$

Tabela 4 – Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	Unidades	[L]	[M]	[T]
p	$^{Kg}/_{m.s^2}$	-1	1	-2
v	$^{m}/_{s}$	1	0	-1
g	$^{m}/_{s^2}$	1	0	-2
ρ	$^{Kg}/_{m^3}$	-3	1	0
y	m	1	0	0

Variáveis de referência: y, v, ρ

$$\text{Det} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -3 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix} = -1$$

As variáveis são linearmente independentes

$$\pi_1 = y^{a_1}.\rho^{b_1}.v^{c_1}.p \tag{14}$$

$$[\,L\,] = a_1 - 3b_1 + c_1 - 1 = 0 \tag{15}$$

$$[\,M\,] = 0 + b_1 + 0 + 1 = 0 \tag{16}$$

$$[\,T\,] = 0 + 0 - c_1 - 2 = 0 \tag{17}$$

$$a_1 = 0$$

$$b_1 = -1$$

$$c_1 = -2$$

$$\pi_1 = \frac{p}{\rho.v^2} \tag{18}$$

$$\pi_2 = y^{a_2}.\rho^{b_2}.v^{c_2}.g \tag{19}$$

$$[\,L\,] = a_2 - 3b_2 + c_2 + 1 = 0 \tag{20}$$

$$[\,M\,] = 0 + b_2 + 0 + 0 = 0 \tag{21}$$

$$[\,T\,] = 0 + 0 - c_2 - 2 = 0 \tag{22}$$

$$a_2 = 1$$

$$b_2 = 0$$

$$c_2 = -2$$

$$\pi_2 = \frac{y.g}{v^2} \tag{23}$$

5.4 Pressão no liquido

Variáveis: pressão (p), gravidade (g), altura (h), densidade (ρ)

Dimensões de referência: [L] [M] [T]

$$\pi = 4 - 3 = 1 \tag{24}$$

Tabela 5 – Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	Unidades	[L]	[M]	[T]
p	$Kg/_{m.s^2}$	-1	1	-2
ρ	$Kg/_{s^3}$	-3	1	0
g	$m/_{s^2}$	1	0	-2
h	m	1	0	0

Variáveis de referência: h, g, ρ

$$\text{Det} \begin{vmatrix} -3 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 2$$

As variáveis são linearmente independentes

$$\pi = h^a.\rho^b.g^c.p \tag{25}$$

$$[\,L\,] = a - 3b + c - 1 = 0 \tag{26}$$

$$[\,M\,] = 0 + b + 0 + 1 = 0 \tag{27}$$

$$[\,T\,] = 0 + 0 - 2c - 2 = 0 \tag{28}$$

$$a = -1$$

$$b = -1$$

$$c = -1$$

$$\pi = \frac{P}{h.\rho.g} \tag{29}$$

5.5 Amplitude

Variáveis: densidade (ρ), velocidade angular (ω), velocidade (v), tempo (s)

Dimensões de referência: [L] [M] [T]

$$\pi = 4 - 3 = 1 \tag{30}$$

Tabela 6 – Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	Unidades	[L]	[M]	[T]
ω	$^{1}/_{s}$	0	0	-1
ρ	$^{Kg}/_{s^3}$	-3	1	0
v	$^{m}/_{s}$	1	0	-1
s	m	1	0	0

Variáveis de referência: s, ω, ρ

$$\text{Det} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} = -1$$

As variáveis são linearmente independentes

$$\pi = s^a . \rho^b . \omega^c . v \tag{31}$$

$$[\, L \,] = a - 3b + 0 + 1 = 0 \tag{32}$$

$$[\, M \,] = 0 + b + 0 + 0 = 0 \tag{33}$$

$$[\, T \,] = 0 + 0 - c - 1 = 0 \tag{34}$$

$$a = -1$$

$$b = 0$$

$$c = -1$$

$$\pi = \frac{v}{s.\omega} \tag{35}$$

5.6 Queda de corpos com resistência

Variáveis: velocidade (v), Força de arrasto (Fa), gravidade, (g), tempo (t)

Dimensões de referência: [L] [M] [T]

$$\pi = 4 - 3 = 1 \tag{37}$$

Tabela 7 - Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	Unidades	[L]	[M]	[T]
v	$m/_s$	1	0	-1
Fa	$Kg.m/_{s^2}$	1	1	-2
g	$m/_{s^2}$	1	0	-2
t	s	0	0	1

Variáveis de referência: v, Fa, t

$$\text{Det} \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 1$$

As variáveis são linearmente independentes

$$\pi = v^a.Fa^b.t^c.g \tag{38}$$

$$[\,L\,] = a + b + 0 + 1 = 0 \tag{39}$$

$$[\,M\,] = -a - 2b + c - 2 = 0 \tag{40}$$

$$[\,T\,] = 0 + b + 0 + 0 = 0 \tag{41}$$

$$a = -1$$

$$b = 0$$

$$c = 1$$

$$\pi = \frac{t.g}{v} \tag{42}$$

5.7 Lei de Bio-Savart

Variáveis: Campo magnético (B), velocidade (v), carga (q), distância (d)

Dimensões de referência: [L] [M] [T]

$$\pi = 4 - 3 = 1 \tag{43}$$

Tabela 8 – Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	Unidades	[L]	[M]	[T]
v	m/s	1	0	-1
B	$\sqrt[2]{Kg/m^3}$	$-3/2$	$1/2$	0
q	$\sqrt[2]{Kg.m^3/s^2}$	$3/2$	$1/2$	-1
d	m	1	0	0

Variáveis de referência: B, v, d

$$\text{Det} \begin{vmatrix} -3/2 & 1/2 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = -1/2$$

As variáveis são linearmente independentes

$$\pi = B^a.v^b.d^c.q \tag{44}$$

$$[\,L\,] = -3a/2 + b + 0 + 3/2 = 0 \tag{45}$$

$$[\,M\,] = a/2 + 0 + 0 + 1/2 = 0 \tag{46}$$

$$[\,T\,] = 0 - b + 0 - 1 = 0 \tag{47}$$

$$a = -1$$

$$b = -1$$

$$c = -2$$

$$\pi = \frac{q}{B.v.d^2} \tag{48}$$

5.8 Fluxo em tubos

Variáveis: Variação de pressão (Δp), diâmetro (d), comprimento (l), velocidade (v), densidade (ρ), μ, rugosidade do tubo (ε)

Dimensões de referência: [L] [M] [T]

$$\pi = 7 - 3 = 4 \tag{49}$$

Tabela 9 – Decomposição das variáveis segundo suas dimensões

Variáveis	Unidades	[L]	[M]	[T]
D	m	1	0	0
L	m	1	0	0
v	m/s	1	0	-1
ε	m	1	0	0
ρ	Kg/m^3	-3	1	0
μ	$Kg/m.s$	-1	1	-1
ΔP	$Kg/m.s^2$	-1	1	-2

Variáveis de referência: D, v, ρ

$$\text{Det} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 3 & 0 & 1 \end{vmatrix} = -1$$

As variáveis são linearmente independentes

$$\pi_1 = D^{a_1}.v^{b_1}.\rho^{c_1}.L \tag{50}$$

$$[\,L\,] = a_1 + b_1 - 3c_1 + 1 = 0 \tag{51}$$

$$[\,M\,] = 0 - b_1 + 0 + 0 = 0 \tag{52}$$

$$[\,T\,] = 0 + 0 + c_1 + 0 = 0 \tag{53}$$

$$a_1 = -1$$

$$b_1 = 0$$

$$c_1 = 0$$

$$\pi_1 = \frac{L}{D} \tag{54}$$

$$\pi_2 = D^{a_2}.v^{b_2}.\rho^{c_2}.\varepsilon \tag{55}$$

$$[\ L\ ] = a_2 + b_2 - 3c_2 + 1 = 0 \tag{56}$$

$$[\ M\ ] = 0 - b_2 + 0 + 0 = 0 \tag{57}$$

$$[\ T\ ] = 0 + 0 + c_2 + 0 = 0 \tag{58}$$

$$a_2 = -1$$

$$b_2 = 0$$

$$c_2 = 0$$

$$\pi_2 = \frac{\varepsilon}{D} \tag{59}$$

$$\pi_3 = D^{a_3}.v^{b_3}.\rho^{c_3}.\mu \tag{60}$$

$$[\ L\ ] = a_3 + b_3 - 3c_3 - 1 = 0 \tag{61}$$

$$[\ M\ ] = 0 - b_3 + 0 - 1 = 0 \tag{62}$$

$$[\ T\ ] = 0 + 0 + c_3 + 1 = 0 \tag{63}$$

$$a_3 = -1$$

$$b_3 = -1$$

$$c_3 = -1$$

$$\pi_3 = \frac{\mu}{D.v.\rho} \tag{64}$$

$$\pi_4 = D^{a_4}.v^{b_4}.\rho^{c_4}.\Delta p \tag{65}$$

$$[\ L\ ] = a_4 + b_4 - 3c_4 - 1 = 0 \tag{66}$$

$$[\ M\ ] = 0 - b_4 + 0 - 2 = 0 \tag{67}$$

$$[\ T\ ] = 0 + 0 + c_4 + 1 = 0 \tag{68}$$

$$a_4 = 0$$

$$b_4 = -2$$

$$c_4 = -1$$

$$\pi_4 = \frac{\Delta p}{v^2.\rho} \tag{69}$$

6 Discussão

A produção foi baseada em um método para a obtenção do fator pi. No método usado para o desenvolvimento dos exemplos apresentados neste, por ser executado em um processo de 6 etapas para obtenção do fator pi, porém ele requer um conhecimento matemático mais apurado.

O fato importante é que as operações usadas são consideravelmente simples, desde que seja utilizado o procedimento apresentado, pois ocorrem várias etapas e com o número de variáveis é reduzido, diminuindo a possibilidade de erro.

A maior dificuldade é saber se existe dependência ou independência linear das variáveis, dificultando a compreensão na execução do processo para obter os números pi e outra dificuldade é conhecer as variáveis que são apresentadas em cada problema, e essa dificuldade torna-se menor ao ganhar experiência ao decorrer das análises.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço ao meu orientador/professor Dr Thiago Borduqui e a professora MsC Luciani Tavares que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho. A minha mãe Eliane, Silas Miranda – meu pai, minha avó Nadir, a minha família e a Antonio Alves, por todo apoio que tem me dado ao longo de minha vida pessoal e acadêmica. A todos os professores (Claudio Manoel, Thyago Mangueira, Diego Nolasco, Daniel Vieira, Sérgio Garavelli, José Ricardo, Paulo Henrique, João Paulo Chaib, Marcos Pereira, entre outros ...) que são modelos de pessoas durante essa caminhada.

E aos meus amigos do curso de Física que conheci durante essa caminhada.

REFERÊNCIAS

BUCKINGHAM, E. 1914. On physically systems; illustrations pf the use of dimensional equations. **Physical Review** 4 (4), 345

GASPAR, Alberto. **Física**. 1ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2002

INTERNACIONAL system of units (SI) – **The NIST Reference on Constants, Unist, And Uncertainty.** Disponível em< http://physics.nist.gov/cuu/Units/introduction.html > Acesso em 30 de jan. 2017

MAIOR, M. A; PIASECKI, M. **Análise dimensional e o Teorema Pi de Buckingham**. 2014, p 1-9. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em :

<https://www.passeidireto.com/arquivo/5017149/analise-dimensional-e-o-teorema-pi-de-buckingham> Acesso em 30 jan. 2017

PIRES, Carlos. **Mecânica dos Fluídos**. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. p. 3. Disponível em <https://moodle-arquivo.ciencias.ulisboa.pt/1213/pluginfile.php/56987/mod_resource/content/1/MF-DEGGE-2011-2012-Aula1-adobe.pdf> Acesso em 30 jan. 2017

ROZENBERG, I.M. **O sistema internacional de unidades – SI.** 3ª ed. São Paulo. Instituto Mauá de Tecnologia, 2006. Disponível em < https://www.passeidireto.com/arquivo/19131344/apostila-fisica-i/10> Acesso em 30 jan. 17

TAVARES, D. A; De OIVEIRA, J. U. C.L. **Mecânica Física: Abordagem experimental e teórica.**1ª ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2014

TIPLER, Paul A. **Física- *Volume 1.*** 4ª ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2000

TRANCANELLI, D. Grandezas físicas e análise dimensional: da mecânica à gravidade quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 38, nº 2, e2505 (2016).** Disponível em < http://www.scielo.br/pdf/rbef/v38n2/1806-1117-rbef-38-02-e2505.pdf > Acesso em 30 jan. 17

SEARS, F. W.; YOUNG, H. D.;ZENANSKY, M. W. **Física 2: mecânica dos fluidos, calor e movimento ondulatório.**" 12ª ed. Rio de Janeiro. Editora LTDA, 2009

Universidade