

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA - CCET
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

JOSÉ HUMBERTO SEIXAS

E-BOOK COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM EM FÍSICA: o ensino de unidades de medida para alunos do primeiro ano do Ensino Médio.

**SÃO LUÍS – MA
2023**

JOSÉ HUMBERTO SEIXAS

E-BOOK COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM EM FÍSICA: o ensino de unidades de medida para alunos do primeiro ano do Ensino Médio.

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Processos de ensino e aprendizagem e tecnologias de informação e comunicação em ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz

SÃO LUÍS – MA

2023

JOSÉ HUMBERTO SEIXAS

E-BOOK COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM EM FÍSICA: o ensino de unidades de medida para alunos do primeiro ano do Ensino Médio.

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Eduardo Moraes Diniz

Doutor em Física - Universidade Federal do Maranhão
Presidente

Antonio Pinto Neto

Doutor em Física - Universidade Federal do Maranhão
(Examinador Interno)

Aline Guerra Dytz

Doutora em Ciências da Tecnologia Nuclear - Universidade Federal do Rio Grande
(Examinador Externo)

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Seixas, José Humberto.

E-BOOK COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM EM FÍSICA : o ensino de unidades de medida para alunos do primeiro ano do Ensino Médio / José Humberto Seixas. - 2023.
135 f.

Orientador(a): Eduardo Moraes Diniz.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2023.

1. Constantes físicas. 2. Contexto histórico. 3. Metrologia. 4. Precisão. 5. Unidades de medida. I. Diniz, Eduardo Moraes. II. Título.

Dedico este trabalho à minha mãe, sra. Claudete (*in memoriam*), a quem devo tudo o que sou; ao meu pai, sr. Antônio (*in memoriam*), por todo o seu afeto; à minha esposa Aurina, o meu porto seguro; à minha filha Ana Beatriz, um pedaço de mim e a razão de seguir adiante; e à minha filha Ana Gabriela, que me completa e me faz feliz.

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque com Ele tudo é possível.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro a este programa de Pós-Graduação - Código de Financiamento 001.

À coordenação e professores do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Polo 47 da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

À minha família, base sólida de apoio para a concretização de mais um projeto de vida.

Ao meu orientador, Professor-Doutor Eduardo Moraes Diniz, por ter me despertado para o tema desta pesquisa.

Aos Centros Educa Mais Dayse Galvão de Sousa e João Francisco Lisboa (CEJOL), pela oportunidade de execução da investigação.

A todos os colegas da turma de mestrado pelo apoio e incentivo.

Ao amigo Fábio Oliveira pelas inúmeras e valiosas contribuições para a realização deste trabalho.

Aos amigos Jozilton Sodr e e Luís Fernando pela ajuda e apoio que vieram oportunamente.

E a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a consecução deste estudo.

Quando você pode medir aquilo de que fala e expressá-lo em números, você sabe alguma coisa sobre isto. Mas quando você não pode medi-lo, quando você não pode expressá-lo em números, o seu conhecimento é limitado e insatisfatório. Se você não pode medir algo, não pode melhorá-lo.

Willian Thomson (Lord Kelvin)

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a importância do estudo das unidades de medida, a partir da apresentação do contexto histórico, a relevância política, econômica e sociocultural, bem como a evolução do conceito dessas unidades no decorrer do tempo. A pesquisa também apresenta as mudanças de paradigmas no estudo das unidades de medida, aplicadas às trocas comerciais e ao impacto voltado ao cotidiano das pessoas, até chegar-se à consolidação do Sistema Internacional de Unidades (SI). Ademais, busca-se a compreensão desse objeto de pesquisa recorrendo-se ora a conceitos necessários, ora a estudos da Metrologia, os quais permitem resultados mais precisos e eficientes, a partir da adoção de constantes físicas, em vez de objetos materiais, contribuindo para o desenvolvimento científico e tecnológico, bem como abordando assuntos da Física Moderna e Quântica devido às novas definições do SI. Além disso, faz-se um estudo com base na ligação interdisciplinar do conteúdo abordado, por meio do método da Teoria dos Campos Conceituais, do matemático, filósofo e psicólogo francês, Gérard Vergnaud, o que contribui para a compreensão dos alunos em relação ao conteúdo pesquisado. O estudo em questão é mediado pela utilização de um produto educacional, em formato de *e-book*, como ferramenta de aprendizagem no ensino de Física para alunos do primeiro ano do ensino médio da rede pública estadual. Intitulado de FÍSICA DE PRECISÃO NO ENSINO DE UNIDADES DE MEDIDA: um Guia para Alunos do Ensino Médio, o livro digital apresenta, de forma didática, conteúdos abrangentes sobre as unidades de medida, desde o contexto histórico até a sua importância para a Ciência, associando os tópicos selecionados ao uso de novas tecnologias, de forma dinâmica e interativa, de modo que esse produto educacional poderá ser utilizado em qualquer situação de ensino-aprendizagem.

Palavras chave: unidades de medida; contexto histórico; Metrologia; constantes físicas; precisão.

ABSTRACT

This work aims to present the importance of studying units of measurement by exploring the historical context, political, economic, and sociocultural relevance, as well as the evolution of the concept of these units over time. The research also discusses paradigm shifts in the study of units of measurement, particularly in relation to commercial exchanges and their impact on people's daily lives, leading to the establishment of the International System of Units (SI). Furthermore, the research seeks to enhance the understanding of this subject by incorporating necessary concepts and insights from Metrology, which enable more precise and efficient results through the adoption of physical constants rather than material objects. This contributes to scientific and technological development, as well as addressing topics in Modern and Quantum Physics due to the new definitions of the SI. Additionally, the study explores the interdisciplinary connection of the discussed content, employing the Theory of Conceptual Fields, a method developed by the French mathematician, philosopher, and psychologist Gérard Vergnaud. This approach helps students comprehend the researched content. The study is mediated by the use of an educational product in the form of an e-book, designed as a learning tool for teaching Physics to first-year students in public high schools. Titled "PRECISION PHYSICS IN THE TEACHING OF UNITS OF MEASUREMENT: A Guide for High School Students," the digital book provides comprehensive and didactic content on units of measurement, from their historical context to their significance in the field of Science. It also incorporates the selected topics with the use of new technologies in a dynamic and interactive manner, making it suitable for various teaching and learning situations.

Key words: units of measurement; historical context; Metrology; physical constants; precision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Medidas inspiradas no corpo humano	25
Figura 2: Modos de utilizar o sistema métrico decimal.....	28
Figura 3: Meridiano que vai do polo norte até a linha do equador, passando por Paris.	30
Figura 4: Linhas das triangulações (em vermelho) para medição do trecho do meridiano (em cinza) que passa por Paris.	31
Figura 5: Círculo Repetidor de Borda.....	31
Figura 6: Réplica em “X” do padrão internacional do metro exposto na sede do BIPM.	32
Figura 7: Organograma sobre a CGPM	33
Figura 8: Entrada do BIPM, Sèvres, França, em 1875	34
Figura 9: Campus do INMETRO em Xérem/RJ	39
Figura 10: Países (em vermelho) que adotam o sistema imperial	40
Figura 11: A medida imperial polegada	42
Figura 12: A medida imperial pé	43
Figura 13: A medida imperial jarda	43
Figura 14: 500 milhas de Indianápolis.....	44
Figura 15: Copo cerveja pint 473 ml	44
Figura 16: Medida do galão americano	45
Figura 17: Barris de petróleo.....	46
Figura 18: Recipientes no Brasil e nos EUA	46
Figura 19: Batata frita embalada	47
Figura 20: Calibragem de pneu em Psi.	48
Figura 21: Relação esquemática entre as unidades básicas do novo SI e suas constantes naturais associadas	51
Figura 22: Relógio atômico de césio	55
Figura 23: O protótipo internacional do quilograma, ou IPK.....	58
Figura 24: Balança NIST-4 Kibble utilizada para redefinir o quilograma	59
Figura 25: Medição da tensão através da junção Josephson, na qual aplica-se uma corrente constante e micro-ondas no material isolante.....	60
Figura 26: Efeito Hall Quântico e Josephson para medida de corrente.....	61
Figura 27: O princípio do equilíbrio de watts executado em dois modos (velocidade e força) usando uma polia	62

Figura 28: O diagrama de circuito do equilíbrio de Kibble no modo de força (superior) e modo de velocidade (inferior)	63
Figura 29: Guindaste eletromagnético	64
Figura 30: Princípio básico da balança utilizada para definir o quilograma.....	64
Figura 31: Etapa de pesagem estática.....	65
Figura 32: Etapa de pesagem dinâmica	66
Figura 33: Balança de watt construída para fins didáticos	67
Figura 34: Triângulo Metrológico Quântico	69
Figura 35: Gráfico indicando o ponto triplo da água.....	70
Figura 36: 1 vela produz, aproximadamente, 1 candela	72
Figura 37: Esfera de silício 28.....	74
Figura 38: A redefinição do SI em termos de constantes físicas	75
Figura 39: Detector de colisões do Fermilab	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Reuniões da CGPM em ordem cronológica de 1889 a 2018.....	33
Quadro 2: Unidades do sistema imperial.....	41
Quadro 3: Unidades do SI.....	49
Quadro 4: Grandezas derivadas do SI.....	49
Quadro 5: Prefixos do SI	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VIM: Vocabulário Internacional de Metrologia

CICMAC: Centro Integrado de Capacitação em Metrologia e Avaliação da Conformidade

BNCC: Base Nacional Comum Curricular

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

TCC: Teoria dos Campos Conceituais

CNRS: Centro Nacional de Pesquisa Científica

MB: Mega Byte

GB: Giga Byte

SI: Sistema Internacional de Unidades

SBM: Sociedade Brasileira de Metrologia

SBF: Sociedade Brasileira de Física

SME: Sistema Marista de Educação

CGPM: Conferência Geral de Pesos e Medidas

BIPM: Bureau Internacional de Pesos e Medidas

CIPM: Comitê Internacional de Pesos e Medidas

SMD: Sistema Métrico Decimal

BR: Brasil

INPM: Instituto Nacional de Pesos e Medidas

EUA: Estados Unidos da América

NASA: National Aeronautics and Space Administration

IPK: Protótipo Internacional do Quilograma

DVM: Voltímetro Digital

PJVS: Padrão de Tensão Programável Josephson

CDF: Fermilab Collider Detector

CEJOL: Centro Educa Mais João Francisco Lisboa

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Dados da questão 01 – Dayse Galvão	87
Gráfico 2: Dados da questão 02 – Dayse Galvão	87
Gráfico 3: Dados da questão 03 – Dayse Galvão	88
Gráfico 4: Dados da questão 04 – Dayse Galvão	89
Gráfico 5: Dados da questão 05 – Dayse Galvão	90
Gráfico 6: Dados da questão 06 – Dayse Galvão	91
Gráfico 7: Dados da questão 07 – Dayse Galvão	91
Gráfico 8: Dados da questão 08 – Dayse Galvão	92
Gráfico 9: Dados da questão 09 – Dayse Galvão	93
Gráfico 10: Dados da questão 10 – Dayse Galvão	94
Gráfico 11: Dados da questão 01 – CEJOL.....	94
Gráfico 12: Dados da questão 02 – CEJOL	95
Gráfico 13: Dados da questão 03 – CEJOL	96
Gráfico 14: Dados da questão 04 – CEJOL	97
Gráfico 15: Dados da questão 05 – CEJOL	98
Gráfico 16: Dados da questão 06 – CEJOL	99
Gráfico 17: Dados da questão 07 – CEJOL	100
Gráfico 18: Dados da questão 08 – CEJOL	100
Gráfico 19: Dados da questão 09 – CEJOL	101
Gráfico 20: Dados da questão 10 – CEJOL	102
Gráfico 21: Comparação dos dados da questão 01 – Dayse Galvão/CEJOL.....	103
Gráfico 22: Comparação dos dados da questão 02 – Dayse Galvão/CEJOL.....	103
Gráfico 23: Comparação dos dados da questão 03 – Dayse Galvão/CEJOL.....	104
Gráfico 24: Comparação dos dados da questão 04 – Dayse Galvão/CEJOL.....	104
Gráfico 25: Comparação dos dados da questão 05 – Dayse Galvão/CEJOL.....	105
Gráfico 26: Comparação dos dados da questão 06 – Dayse Galvão/CEJOL.....	105
Gráfico 27: Comparação dos dados da questão 07 – Dayse Galvão/CEJOL.....	106
Gráfico 28: Comparação dos dados da questão 08 – Dayse Galvão/CEJOL.....	106
Gráfico 29: Comparação dos dados da questão 09 – Dayse Galvão/CEJOL.....	107
Gráfico 30: Comparação dos dados da questão 10 – Dayse Galvão/CEJOL.....	107

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivos específicos	20
3 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD	21
4 UM BREVE HISTÓRICO DAS UNIDADES DE MEDIDA	25
5 A CRIAÇÃO DO SISTEMA MÉTRICO DECIMAL	28
5.1 A Conferência Geral de Pesos e Medidas	33
5.2 O Bureau Internacional de Pesos e Medidas	34
5.3 O Comitê Internacional de Pesos e Medidas	35
6 O SISTEMA MÉTRICO DECIMAL NO BRASIL	36
7 O SISTEMA IMPERIAL	40
7.1 A unidade imperial polegada	42
7.2 A unidade imperial pé	42
7.3 A unidade imperial jarda	43
7.3 A unidade imperial milha	43
7.4 A unidade imperial pint	44
7.5 A unidade imperial galão	45
7.6 A unidade imperial barril	45
7.7 A unidade imperial onça líquida	46
7.8 A unidade imperial onça	46
7.9 A unidade imperial libra	47
8 O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES	49
8.2 A unidade do SI segundo	55
8.3 A unidade do SI metro	56
8.4 A unidade do SI quilograma	57

8.4.1 O princípio da balança de Kibble-watt.....	63
8.4.2 Etapa de pesagem estática	65
8.4.3 Etapa de pesagem dinâmica.....	65
8.5 A unidade do SI ampere	68
8.6 A unidade do SI kelvin.....	70
8.7 A unidade do SI candela	71
8.8 A unidade do SI mol	73
8.9 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI	76
9 A FÍSICA COMO CIÊNCIA DE PRECISÃO	77
10 EBOOK COMO PRODUTO EDUCACIONAL.....	84
11.1 Caracterização do campo de pesquisa	86
11.2 Perfil dos participantes da pesquisa.....	86
11.3 Análise de dados.....	86
11.3.1 Análise Comparativa – CEM Dayse Galvão de Sousa e CEM João Francisco Lisboa (CEJOL).....	102
12 CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
REFERÊNCIAS	112
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	124
APÊNDICE B – Resultado do Questionário – Dayse Galvão.....	127
APÊNDICE C – Resultado do Questionário – CEJOL	131

1 INTRODUÇÃO

A humanidade, a partir da organização das civilizações, sentiu a necessidade de estruturar-se com unidades de medidas. Assim, a Metrologia, área do conhecimento que “é a ciência da medição e suas aplicações”, de acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), além de ser “um conjunto de conhecimentos científico e tecnológico abrangendo todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições” Centro Integrado de Capacitação em Metrologia e Avaliação da Conformidade (CICMAC), é necessária para regulamentação e funcionamento de várias áreas da nossa vida, o que garante segurança para os indivíduos. Dessa forma, é de suma importância para o estabelecimento - e para as normas - das diversas unidades de medida, as quais asseguram a performance do comércio e das negociações, além da integridade física, como citado anteriormente. Além disso, para todas essas garantias a Metrologia busca maneiras com a maior precisão possível para o estabelecimento das formas de medir, andando, então, juntas as unidades de medida e a precisão. Outrossim, a criação de sistemas de medida, assim como formas para aperfeiçoá-los e torná-los mais precisos, foi uma consequência de processos históricos, socioculturais, políticos, econômicos, tecnológicos e científicos.

Dessa forma, acerca desse assunto, não é dada a devida importância para utilização das grandezas e medidas. Nas salas de aula do Ensino Médio, como também nos livros didáticos, pouco se fala sobre a relevância da criação e da fixação de sistemas de unidade, da Metrologia e da precisão.

Entretanto, o que se observa é que, geralmente, os livros didáticos introduzem o tema “grandezas e unidades de medidas” sem muita historicidade ou, quando não, apresentam uma história hagiográfica a partir da qual o aluno é levado a memorizar as unidades de medida e fazer as conversões corretas. (GODOI; FIGUEIRÓA, 2008, p. 524)

É perceptível que a compreensão sobre o tema não é trabalhada com êxito durante o Ensino Médio. Não se encontram nos livros didáticos abordagens mais profundas sobre as unidades de medida, o que dificulta a disseminação dessa ciência, que, apesar de ter uma ampla abordagem, ainda tem um público muito restrito:

Nesse sentido restrito, a metrologia assumiu a natureza de uma arte ou ofício, em vez de uma ciência, e atraiu pouco interesse acadêmico. Como consequência, sua literatura, embora extensa, tende a ser de caráter ad hoc, é amplamente dispersa e aparece principalmente na forma de relatórios ou documentos internos. Não existe um tratamento sistemático extensivo do assunto comparável aos grandes textos de outras disciplinas. (SIMPSON, 1981, p. 281)

A literatura metroológica para o ensino básico não contém contexto histórico, social e econômico e os exercícios resumem-se em converter unidades, sendo que, segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a contextualização é uma das competências da área da Ciência da Natureza, como descrito a seguir:

A contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimento humanos e sociais. Na BNCC, portanto, propõe-se também discutir o papel do conhecimento científico e tecnológico na organização social, nas questões ambientais, na saúde humana e na formação cultural, ou seja, analisar as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. (BRASIL, 2018, p. 549)

Assim, a urgência desse ensino também se torna necessária com as novas reformulações presentes na BNCC, considerando ainda a nova fase em que o sistema educacional brasileiro se encontra, decorrente do Novo Ensino Médio. Dessa forma, a Base Curricular sugere, dentre outros conteúdos, o ensino da metrologia no Ensino Médio por meio dos itinerários formativos. Tem-se, então, em sua composição:

Ciências da natureza e suas tecnologias: aprofundamento de conhecimentos estruturantes para aplicação de diferentes conceitos em contextos sociais e de trabalho, organizando arranjos curriculares que permitam estudos em astronomia, metrologia, física geral, clássica, molecular, quântica e mecânica, instrumentação, ótica, acústica, química dos produtos naturais, análise de fenômenos físicos e químicos, meteorologia e climatologia, microbiologia, imunologia e parasitologia, ecologia, nutrição, zoologia, dentre outros, considerando o contexto local e as possibilidades de oferta pelos sistemas de ensino (grifo nosso). (DCNEM/2018/ (BRASIL, 2018, p. 477)

As diretrizes para que esses conhecimentos sobre metrologia sejam ensinados partem também de outros agentes, como o INMETRO, que percebe o quão essencial é a promoção de informação sobre essa área.

Foi encaminhada pelo Inmetro ao Ministério da Educação, uma proposta no sentido de incluir, nas Diretrizes Curriculares da Graduação, tópicos sobre metrologia, normalização e qualidade, atingindo todas as categorias, em modalidades adequadas a cada uma delas, como forma de prover conhecimentos básicos ao pessoal graduado. (ASSUNÇÃO; et.al, 2020, apud INMETRO, 2020b, p. 36)

Além disso, percebem-se inúmeras dificuldades apresentadas pelos alunos: não sabem conceitos e fazem confusões ao transformar medidas. Dessa maneira, é imprescindível fazer uma conexão entre os assuntos dos Ensinos Fundamental e Médio. Essa importância é vinculada ao cotidiano do estudante, por meio da conta de energia, do uso de dados da internet, da dosagem de um medicamento etc. Assim como no dia-a-dia, medir é essencial para a ciência. Com isso, o professor deve se atentar aos conhecimentos prévios dos estudantes, já que, apesar de ainda não ser dada a devida importância, é um conteúdo

apresentado em sala de aula, percebendo o quanto é um conteúdo interligado a diversas outras disciplinas:

No Currículo Paulista de Matemática, no Ensino Fundamental há a mesma unidade temática Grandezas e Medidas propondo estudo das medidas e das relações entre elas, favorecendo a integração da matemática com outras áreas do conhecimento, inclusive com habilidades e objetos do conhecimento idênticos à BNCC. No Ensino Médio, encontra-se as mesmas competências e habilidades presentes na BNCC, contudo, verifica-se a separação por unidades temáticas e os referidos objetos do conhecimento, no qual, Geometria e Medidas explora as relações métricas, a notação científica, algarismos significativos e duvidosos, grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras, a conversão entre unidades compostas e as unidades de medidas e suas conversões no SI. Na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, na unidade temática Matéria e Energia, são propostas relações entre algumas unidades de medidas, bem como o estudo das grandezas escalares e vetoriais. (ROTONDO, 2021, p. 19)

Outro aspecto que deve ser explorado é o de que a metrologia também deve estar mais presente na graduação do professor. Os cursos de Física Licenciatura não fornecem o preparo básico em metrologia para que esta possa ser ensinada no Ensino Médio, o que representa outro desafio para a aprendizagem sobre a medição e precisão, já que nem mesmo o próprio educador tem domínio suficiente sobre o conteúdo em questão. Portanto, o ensino superior, antes de tudo, deve estar em sintonia com a educação básica.

Pois, de um lado tem-se as Diretrizes que estão desde 2003 sugerindo de forma gradual a inserção de elementos da metrologia nos cursos de graduação e, recentemente, a nova BNCC fortalecendo esse discurso ao expor a metrologia como um dos conteúdos a ser trabalhado nas escolas. Do outro lado, tem-se as instituições de ensino superior, especificamente, as que ofertam os cursos de Licenciatura em Física que não oferecem as noções básicas a respeito da metrologia. (ASSUNÇÃO; et.al, 2020, n.p.)

Desse modo, é importante salientar uma proposta de metodologia de ensino para o estudo das unidades de medida que conste assuntos da física moderna e quântica devido às novas definições do SI que tratam, por exemplo, do Efeito Hall Quântico, Efeito Josephson, desdobramento hiperfino, conteúdos que dão base ao entendimento dos padrões adotados e que devem ser compreendidos pelos alunos não só por fazer parte de uma base curricular, mas também por ser um meio para facilitar o ensino e gerar o interesse das ciências da natureza pelos estudantes.

Em função disso, apresentamos uma proposta de ensino que consiste na elaboração de um e-book com conteúdos mais abrangentes sobre as unidades de medida, desde o contexto histórico até sua importância para a ciência, associado ao uso de novas tecnologias, concomitantemente às exigências da BNCC, que mostra que a ciência é influenciada por diversas condições e, por isso, a importância da contextualização:

A contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura. (BRASIL, 2018, p. 550)

Além disso, o produto educacional tem também o objetivo de ser utilizado em qualquer ambiente de aprendizagem, com fácil acesso e de maneira democrática, apresentando um assunto que tem grande relevância para a compreensão, como disse William Thomson (1824-1907), o Lord Kelvin (s.d., n.p.):

Quando você pode medir aquilo de que fala e expressá-lo em números, você sabe alguma coisa sobre isto. Mas quando você não pode medi-lo, quando você não pode expressá-lo em números, o seu conhecimento é limitado e insatisfatório. Se você não pode medir algo, não pode melhorá-lo.

Por isso, deve-se compreender a medição sem esquecer de detalhes como contextos e conceitos, valorizando a base teórica, já que são essenciais para o entendimento e significado do que é medir, conhecimento este que é construído no decorrer da vida estudantil, nos anos iniciais até os últimos anos do Ensino Médio. Dessa forma, é observado um campo conceitual para a construção metodológica do conhecimento. A Teoria dos Campos Conceituais, formulada por Gérard Vergnaud apud Moreira (20?, n.p.), trata de

[...] um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição.

Por essa razão, é de suma importância, sobretudo, no campo acadêmico, que se compreendam as diversas unidades de medida, bem como as responsáveis pelas suas definições, que foram mudando, de acordo com novas convenções e novos métodos, para que fossem cada vez mais precisas e mais acessíveis a todas as nações. Assim, a fim de que o aluno consiga desenvolver habilidades com o uso dessas unidades, em resolução de exercícios, em seu histórico, em conversões de medidas, deve-se primeiro saber do que se tratam, já que “deve-se dar toda atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações para as quais os estudantes desenvolvem seus esquemas, na escola ou fora dela” (VERGNAUD, apud MOREIRA, 1994, p. 58), pois, pela organização dos campos conceituais, os assuntos relacionam-se e são construídos ao longo do tempo. Logo, como o conhecimento está organizado por meio de conceitos, Vergnaud apud Moreira (1996a, p. 118) menciona que “a teoria dos campos conceituais supõe que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização” e que, portanto, “[...] é ela a pedra angular da cognição [...]”

(VERGNAUD apud Moreira, 1998, p. 173), porque centraliza o processo de ensino à obtenção e compreensão dos conceitos que permeiam os conteúdos.

No próximo capítulo serão apresentados os objetivos gerais e específicos desta pesquisa. No capítulo três, será abordado o teórico escolhido no estudo em questão, Gérard Vergnaud, falando sobre a Teoria dos Campos Conceituais como metodologia de ensino. O seguinte capítulo se trata de um breve contexto histórico das unidades de medida. No quinto capítulo entra-se no tópico da criação do sistema métrico decimal, expondo seus desdobramentos. Em seguida tem-se o tópico do Sistema Métrico no Brasil e do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), trazendo sua história e suas funções. O próximo capítulo descreve o Sistema Imperial. Já o capítulo 8 aborda o Sistema Internacional de Unidades, sendo este explorado de forma mais profunda, já que é o utilizado pela maior parte dos países, apresentando também todas as definições atuais de suas grandezas. Ainda neste capítulo, trata-se das Constantes do SI e de como elas contribuem e são essenciais para as definições das unidades de medida. Completando a ideia geral do trabalho, é discutido no capítulo 9 “A Física como Ciência de Precisão”, ou seja, a sua importância acerca da precisão nas medidas. Os dois capítulos seguintes referem-se a aspectos metodológicos sendo, respectivamente: “E-book como Produto Educacional”, com sua descrição e a “Metodologia”. Por último, as “Considerações Finais”.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver a habilidade de compreensão do aluno relacionada às unidades de medida, por meio da utilização de uma ferramenta educacional com base na teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud.

2.2 Objetivos específicos

Compreender a importância dos Sistemas de Unidades nas relações comerciais, político-econômicas, científico-tecnológicas;

Refletir sobre a importância da Física como Ciência de precisão;

Identificar as dificuldades dos alunos no aprendizado das unidades de medida, apresentando alternativas para solução de situações-problemas;

Criar estratégias de ensino para desenvolver habilidades a partir da utilização de um produto educacional.

3 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD

Gérard Vergnaud nasceu em Doué-la-Fontaine, na região de Anjou, na França em 08 de fevereiro de 1933. É um psicólogo e doutor em educação matemática pela Universidade de Paris I. Em 1968 defendeu a sua tese sob o título “A Resposta Instrumental como Resolução de Problemas. Pura teoria” e teve como orientador Jean Piaget. No ano de 1977 formulou a conhecida Teoria dos Campos Conceituais (TCC) que tem suas bases nas conjecturas de Piaget como também influências de Vigotski. Entre 1975 e 1995 foi diretor de pesquisa em Psicologia do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS). Pelo fato de ter orientado diversos brasileiros, criou fortes laços com o país, inclusive tendo a sua TCC como base aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN (KECIA, 2011).

Existem várias publicações acadêmicas que se servem da TCC do psicólogo francês, fazendo-o ser grande autoridade na fundamentação do processo de ensino-aprendizagem de matemática. Para o próprio Vergnaud (1993, p. 1) “sua principal finalidade é propor uma estrutura que permita compreender as filiações e rupturas entre conhecimentos, em crianças e adolescentes”.

A teoria dos conceitos de Gérard Vergnaud (1993), tem importância para o processo de ensino-aprendizagem de matemática, no caso desta pesquisa, sobre o ensino de unidades de medida, pelo fato dela subsidiar uma abordagem em que demonstra como acontece o aprendizado. Nesse sentido, é importante evidenciar que a teoria dos campos conceituais de Vergnaud nasceu, inicialmente, para esclarecer o processo de conceitualização progressiva das estruturas aditivas e multiplicativas, das relações números e espaço e da álgebra, sendo assim, não ser uma teoria específica da Matemática ou da Física.

Na teoria de Vergnaud o problema central da cognição é a conceitualização, sendo que o desenvolvimento cognitivo se dá, principalmente, através do desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas, no intuito de possibilitar ao sujeito enfrentar e dominar a gama de situações que lhe são apresentadas, sendo necessário, portanto, dar toda atenção aos aspectos conceituais que envolvem os esquemas, seja na escola ou fora dela, visto que, o domínio de um campo conceitual não é um processo rápido, e suas dificuldades só serão superadas na medida em que forem enfrentadas. (JUNIOR; CUSTÓDIO, 20?, p. 02)

À vista disso, podemos entender que a TCC de Vergnaud é um estudo constante que busca entender, a lógica do raciocínio matemático desenvolvido pelos estudantes ao longo do processo de ensino-aprendizagem. Por isso é uma teoria cognitivista, feita a partir da resposta que os alunos obtêm em cada conteúdo, configurando-se como uma herança piagetiana (CARVALHO JR; AGUIAR JR., 20?).

Moreira (2002, p.9) ao discutir a TCC afirma ser “um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição”. De acordo com Vergnaud (MOREIRA, 2022), os conhecimentos são organizados então em campos conceituais de modo que se interligam com outras disciplinas. Ou seja, o campo conceitual, recebe esse nome, porque para que o estudante se aproprie de um conceito é necessário integrá-lo em várias situações, mesmo que uma única situação que seja possua vários conceitos. Sendo assim, podemos concluir que um conceito é junção de vários outros conceitos, por isso, o nome campo conceitual.

Magina et. al. (2014, p. 52) destacam que

dessa forma, podemos nos referir a um campo conceitual como sendo um conjunto de problemas ou situações, cuja análise e tratamento requerem vários tipos de conceitos, procedimentos e representações simbólicas, os quais se encontram em estreita conexão uns com os outros.

Dessa forma, conforme Vergnaud apud Rezende Junior e Custódio (1983, n.p.), “é praticamente impossível estudar as coisas separadamente, assim, defronte de determinadas situações nos articularmos de uma determinada maneira, regida por representações que fazemos dela”. Isto é, para Vergnaud (1993, p. 6) é através de situações e problemas que um conceito faz sentido para um aprendiz, além de que, deve-se levar em consideração a linguagem e o simbolismo para construir a conceitualização.

Uma parte importante da TCC são as relações. Vergnaud (1993) aponta que pode ser que um sujeito envolvido no processo ensino-aprendizagem, tenha certas competências que possibilitem um tratamento da situação envolvida, diferente daquele sujeito envolvido no processo ensino-aprendizagem que não dispõe de habilidades necessárias para a situação imposta, assim, ele deverá ser levado a solucionar a situação por meio do processo de tentativas e erros, podendo ou não ter êxito.

Quando estudamos os problemas físicos relacionamos-os a situações cotidianas do estudante, com o intuito de possibilitar com que ele seja capaz de relacionar diferentes conceitos em situações que aparentemente são simples. Dessa forma, ele passará a compreender a realidade como um todo não como algo dado ou simples, mas como uma realidade que pode ser explicada em conceitos físicos.

Podemos entender isso com o exemplo Vergnaud (2014, p. 37) faz sobre o cálculo relacional da matemática:

[...] a criança, como qualquer outro sujeito, regula sua conduta sobre as relações que ela apreende e sobre o cálculo relacional que faz. A noção

de cálculo relacional contribui para esclarecer e explicar a noção, muito vaga, de raciocínio.

Dessa maneira, o estudante se interessa pelo assunto abordado em sala de aula, assimilando-o de maneira mais prática e prazerosa, pois sente a sua necessidade. Sendo assim, tem-se a seguinte percepção:

A aprendizagem acontece por meio das experiências com um grande número de situações, tanto dentro como fora da escola. Os conceitos adquiridos possuem um domínio de validade restrito que varia de acordo com a experiência e com o desenvolvimento cognitivo do aluno. O saber se forma a partir de problemas para resolver, quer dizer, de situações para dominar. [...] Por problema é preciso entender, no sentido amplo que lhe atribui o psicólogo, toda situação na qual é preciso descobrir relações, desenvolver atividades de exploração, de hipótese e de verificação, para produzir uma solução. (VERGNAUD, 1990, p. 52)

Logo, para os estudos das unidades de medida, visando seu contexto histórico, assim como sua importância, a TCC mostra-se necessária, já que aplica a situação problema ao cotidiano dos alunos e focaliza nos conceitos que são muitas vezes escassos nos livros didáticos. Por exemplo, através desse estudo de unidades de medida podemos ensinar ao estudante como utilizar os equipamentos elétricos e a telefonia de dados móveis de internet de forma racional usando a TCC de Gerard Vergnaud.

Dessa forma, saber calcular o consumo de energia elétrica dos aparelhos eletrodomésticos no seu dia-a-dia através dos conceitos estudados em sala de aula é de suma importância para que esse aluno a use de forma consciente. Diante do conhecimento da unidade de medida de consumo de energia, o kWh, é possível compreender essa conexão do consumo por meio da relação entre a potência do equipamento e o tempo em que ele permanece ligado, usando a equação $E = p \cdot \Delta t$. Todo equipamento elétrico possui uma potência apresentada em watt (W). Geralmente essa informação vem expressa no produto ou na embalagem, como por exemplo, em aparelho de ar condicionado, geladeira, chuveiro elétrico, etc. Portanto, uma geladeira comum, cuja potência é de 250 W (0,25 kW) ligada 24 horas por dia, terá um consumo mensal de 180 kWh. Dessa forma, diante do conhecimento da unidade de medida de consumo e da tarifa local de energia elétrica, o aluno conseguirá entender, fazer a leitura e economizar a conta de energia da sua casa.

No que refere ao consumo de dados móveis de internet é importante que o aluno compreenda essa relação na contratação de um pacote de dados. De acordo com a pesquisa realizada pelo App Annie, em 2021, divulgada pelo Jornal Diário Popular, os brasileiros são os que mais acessam aplicativos no mundo, 5,4 horas por dia. Dentre os aplicativos pesquisados os favoritos dos brasileiros são: WhatsApp (56%), Instagram (41%) e Facebook (41%). Aplicativos como Tik Tok, YouTube e Netflix, também são da preferência dos

usuários. Um episódio de 50 minutos de Netflix, por exemplo, pode chegar a consumir até 250 Megabytes (MB). Então, num plano de dados de 3 Gigabytes (GB), uma pessoa pode assistir a 12 episódios, mas irá consumir todo o seu pacote de internet, chegando aquela indesejável mensagem “você já atingiu 100% da sua franquia de dados” (ComparaPlano, 2021). Por isso, é indispensável entender a relação e diferença entre as unidades de consumo de dados de internet como MB e GB para a contratação e utilização racional desse serviço tão importante no mundo moderno.

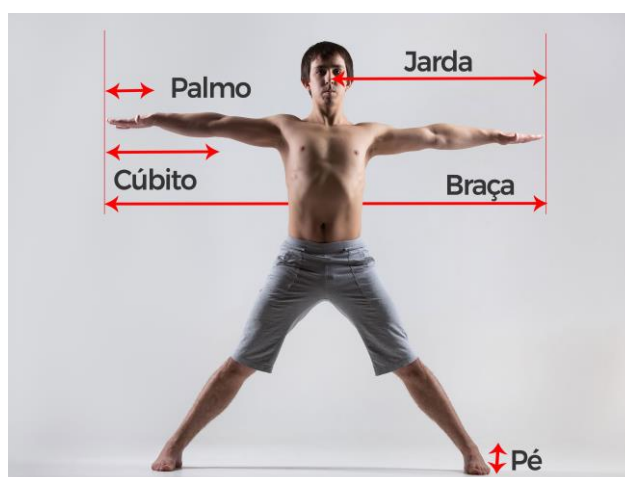
Sendo assim, segundo a TCC desenvolvida por Vergnaud, “o conhecimento de um indivíduo se constrói à medida que ele consegue estabelecer relações e conceituar determinadas situações ou problemas” (CEDRAN, 2019, n.p.). Portanto, apresentar ao aluno através do estudo de unidades de medida, situações problema do seu cotidiano, como o consumo de energia elétrica e de dados móveis de internet ao que estão aprendendo constitui um bom referencial para o estudo.

4 UM BREVE HISTÓRICO DAS UNIDADES DE MEDIDA

A partir da organização da população, as formas de medição foram sistematizadas, de acordo com o que precisavam: “Como consequência do desenvolvimento do homem, convivendo em sociedade e constituindo comércio, surgiram também as necessidades de medir ângulos, superfícies, comprimentos, volume e massa.” (POZEBON; LOPES, 2013, p. 4). Desse modo, as medidas tornaram-se necessárias para um melhor ordenamento.

Por volta de 3.500 AEC, as medições eram baseadas em partes do corpo humano (ver **Figura 1**), sendo chamadas de medidas antropométricas (BOYER; EVES; IFRAH, 1997 apud POZEBON; LOPES, 2013, p. 4). Com o decorrer do tempo, passaram a ser baseadas em artefatos.

Figura 1: Medidas inspiradas no corpo humano



Fonte: Sociedade Brasileira de Metrologia - SBM e Sociedade Brasileira de Física – SBF, 2019

Vitrúvio (81 AEC – 15 AEC), arquiteto e historiador romano, falava sobre a simetria que o corpo humano apresenta, que era o que se chamava pelos gregos proporcionalidade, ou seja, quando se tem certa semelhança comparada a uma outra unidade de medida (CREASE, 2013, p. 13). Além disso, ele considerava que o corpo humano, por um sentido cosmológico, ainda tinha um significado espiritual e estético (CREASE, 2013, p. 13). Por isso, diz também Vitrúvio “era dos membros do corpo que (os antigos) derivaram as ideias fundamentais das medidas que obviamente são necessárias em todos os trabalhos” (CREASE, 2013, p. 13). Declara assim em seu livro sobre a proporcionalidade e simetria:

Pois o corpo humano é desenhado pela natureza de tal maneira que a face, do queixo até o topo da testa e as raízes mais baixas de seu cabelo, é a décima parte de toda a altura; a mão aberta do pulso até a ponta do dedo médio é exatamente igual; a cabeça, do queixo até a coroa, é um oitavo, e com o pescoço e ombro do alto do peito até as raízes mais baixas do cabelo, é um sexto; do meio do peito até o ápice da coroa é um quarto. ... O comprimento do pé é um sexto da altura do corpo; do antebraço, um quarto; e a largura do peito é também um

quarto. Os outros membros, também, possuem suas próprias proporções simétricas, e foi empregando-as que os pintores e escultores famosos da Antiguidade obtiveram seu grande e infinito renome. (CREASE, 2013, p.14)

Dessa forma, com a proporção do corpo humano e sua simetria, cercado também de significados místicos, puderam ser observados e criados padrões de unidades, sendo o homem a medida de todas as coisas, como afirmava o filósofo Protágoras (481 AEC – 411 AEC).

No entanto esses parâmetros não eram precisos e a necessidade de padronização de medidas, a partir do desenvolvimento do comércio, sobretudo, tornou-se cada vez maior (POZEBON; LOPES, 2013). Como declara CENTOURIÓN (1994, n.p.) apud POZEBON; LOPES (2013, p. 5):

Centurión afirma que os antigos babilônios, os egípcios, gregos e romanos padronizaram diversos “pesos e medidas” para atender as necessidades das suas sociedades. Na Inglaterra foram criadas unidades de medida que são utilizadas até hoje, como a polegada, o pé e a milha. Também foram criadas outras unidades, como o cúbito (originário do Egito, a medida do cotovelo ao dedo médio do Faraó) e o grão de trigo (utilizado como medida-padrão para massa).

Sendo assim, medir passou a ser essencial para que houvesse organização nas civilizações, mostrando que “cada progresso matemático é uma consequência histórica do precedente” (Hogben, 1952, p. 58), já que, como consequência da agricultura e de uma sistematização mais complexa das civilizações, surgiram as medidas.

A padronização de medidas também é importante para a organização das trocas comerciais seguras, porque são diminuídas as chances de fraude com um sistema já fixo e padronizado (POZEBON; LOPES, 2013). Sendo assim, com a adoção de medidas características de cada organização social e com o objetivo de se estabelecerem, por meio de conquistas territoriais, esses sistemas foram chegando à outras civilizações, através das relações de poder (POZEBON; LOPES, 2013). Segundo Giorgio Moscati (2003, n.p.), “quem controlava as medidas detinha o poder”. Na Idade Média, por exemplo, cada senhor feudal utilizava uma forma de medir distinta, o que correspondia a uma forma de dominação, pois podiam se beneficiar, e ainda deter o controle, com alguma troca comercial (REDAÇÃO SUPER INTERESSANTE, 2003).

Além disso, com os fatores históricos, políticos e econômicos, observou-se uma mudança de paradigmas entre a sociedade, em suas culturas e hábitos. Com a Revolução Industrial, ocorrida ainda no século XVIII, na Inglaterra, mudou completamente a forma de produção, a partir de novas tecnologias e invenções. Com modelos de produção rígidos, como o Taylorismo e Fordismo, o controle do tempo e dos movimentos dos trabalhadores passaram a ser primordiais para o lucro. Dessa forma, expressões como “tempo é dinheiro” surgiram

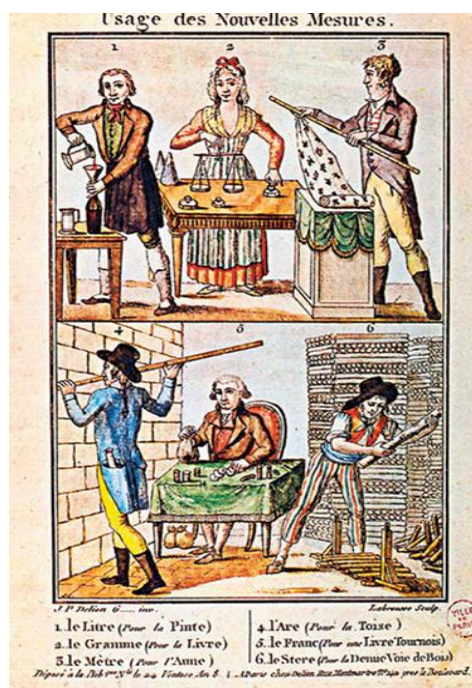
durante esse período (CARVALHO, s.d.). “Antes do surgimento das fábricas, as pessoas não conviviam com o tempo normatizado do relógio; e as orientações temporais eram realizadas pelas observações naturais (pelo Sol e estações do ano)” (CARVALHO, s.d., n.p.). Assim, é notório que não só os seres humanos passaram a perceber os fenômenos pelo tempo e aplicá-los à sua realidade, como também passaram a ser controlados por ele.

5 A CRIAÇÃO DO SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

Com o passar do tempo, a humanidade e a História foram marcadas por grandes revoluções que influenciaram as coisas como são hoje e, inclusive, o modo de medir e os sistemas de unidades adotados. É impossível dissociar aspectos sociais, políticos, econômicos, tecnológicos e científicos.

A Revolução Francesa que, segundo Eric Hobsbawn (1917-2012), é um marco das lutas populares e democráticas do Ocidente (apostila 17 SME), foi um período de grande transição econômica, política e social. Foi também que, nesse contexto, foi criado o sistema métrico decimal (ver **Figura 2**).

Figura 2: Modos de utilizar o sistema métrico decimal



Fonte: KILHIAN, 2012

Os franceses foram pioneiros em conseguir inserir a padronização de uma unidade de medida baseada na natureza. Essa ideia, no meio científico já era almejada (ALDER, 2003). Além disso, a França também contou com a ajuda científica de outros meios acadêmicos, como a Royal Society, na Inglaterra (ALDER, 2003).

O sistema de medidas da Europa contava com diversas unidades distintas, o que causava confusão entre a sociedade. “Os contemporâneos estimavam que, sob cerca de 800 nomes, o *Ancien Régime* da França empregava a quantidade incrível de 250 mil unidades de pesos e medidas” (ALDER, 2003, p. 14-15). Dessa forma, as pessoas estavam sendo

prejudicadas, sobretudo, os mais pobres, pois como não haviam padrões fixos essas pessoas sem muitas condições, gastavam mais que o necessário (ALDER, 2003). Assim, a população começou a pressionar o governo para que houvesse uma providência no que se diz respeito à padronização das unidades (CREASE, 2013). Como a França passava por uma revolução, essa missão não era nada fácil, já que internamente a desordem estava incontrolada.

A padronização de unidades era de suma importância por garantir organização nas trocas comerciais, na fabricação de produtos e ainda segurança para que ninguém fosse beneficiado de maneira injusta (ALDER, 2003).

Pela Revolução de 1789 ameaçar a soberania da figura do Rei, já que ia contra às ideias do Absolutismo, vários monarcas tentaram organizar padronizações de medidas com a finalidade de serem bem vistos pela população (Canal Metrologia, 2018).

Segundo Crease (2013), antes da Revolução, a ideia de uma reforma metrológica já havia sido proposta duas vezes, no intervalo de 11 anos, em 1754 e em 1765. No entanto, essas reformas não progrediram, por questões culturais, pela mudança nos costumes da população, e econômicas, pelo alto custo da implementação da alteração. Assim, Luiz XVI (1754-1793) tomou a iniciativa da padronização das unidades de medida, com o discurso de que a reforma metrológica era extremamente necessária, convencendo a Academia Francesa de Ciência e pessoas influentes no meio político. O articulador escolhido foi o político e diplomata francês Maurice de Talleyrand (1754-1838) e foi ele quem apresentou a proposta, que revolucionou a metrologia, à Assembleia Nacional. Assim, foi apresentado em seu discurso que a “grande variedade em nossos pesos e medidas ocasiona confusão em nossas ideias, e necessariamente uma obstrução no comércio”, além de que “o caminho mais fácil e simples seria adotar as já existentes, libra e toesa de Paris. Mas é melhor ser mais ambiciosos, pois os cientistas têm demonstrado como basear as medidas em um modelo invariável encontrado na natureza”. Como observado, seus argumentos foram bem convincentes e condiziam com a realidade confusa em que o sistema de pesos e medidas da França passava.

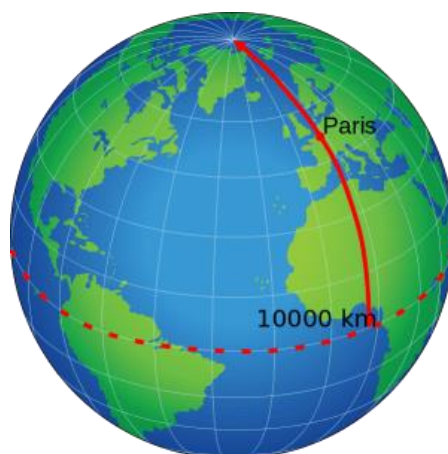
Ainda segundo Crease (2013) foi sugerido que a unidade de comprimento (a vara) fosse baseada no comprimento do pêndulo de segundo, sendo ela aprovada em 1790. Outras duas opções surgiram para se basear: a quarta parte do equador terrestre e o quadrante do meridiano que passava por Paris, sendo o referencial escolhido, porque ele já havia sido medido anteriormente. Assim ele corresponde à décima milionésima parte do meridiano de Paris, ou seja, o metro.

Dessa forma Crease (2013) destaca que todo sistema teria alicerce em decimal e, por uma estratégia política e comercial, se mudaria o nome da unidade vara (unidade

francesa) para metro, do grego “métron”, que significa “o que mede”. Isso ocorreu, para que as nações adotassem mais facilmente a unidade, sem que, pelo patriotismo exacerbado, isso significasse a soberania de uma nação sobre a outra, já que a nomenclatura era grega e, assim, aumentaria sua universalidade. Essas medidas foram abonadas em 1791.

Com a proposta aprovada, dois cientistas, Pierre Méchain (1744-1804) e Jean Delambre (1749-1822), partiram para uma expedição com o objetivo de medir o arco do meridiano que passa por Paris (ver **Figura 3**) (ALDER, 2003).

Figura 3: Meridiano que vai do polo norte até a linha do equador, passando por Paris.



Fonte: RIGUES, 2022

Essas medições duraram 7 anos e os lugares escolhidos ficavam ao nível do mar (Barcelona, na Espanha, e Dunquerque, na França), para que a medição fosse facilitada, através do método da triangulação (ALDER, 2003) (ver **Figura 4**).

Figura 4: Linhas das triangulações (em vermelho) para medição do trecho do meridiano (em cinza) que passa por Paris.



Fonte: RIGUES, 2022.

Méchain e Delambre fizeram uso, na expedição, dos mais modernos e precisos instrumentos científicos da época, sendo o principal deles, o Círculo Repetidor de Borda (ver **Figura 5**), que era alojado nas torres mais altas das cidades por onde passavam.

Figura 5: Círculo Repetidor de Borda.



Fonte: RIGUES, 2022.

O instrumento funcionava, na parte noturna, como sextante (arco de 60 graus), sendo usado para determinar a latitude local a partir da observação das estrelas. No período do

dia, tinha a função de teodolito, que conhecendo a distância entre duas torres longínquas, media as distâncias a partir do ângulo entre elas. Empregando a geometria, faziam os cálculos dos outros lados do triângulo e seguiam para outra cidade (RIGUES, 2022).

Em 30/04/1799, o arco do meridiano foi apresentado, sendo igual a 5.130.740 toesas, o que equivale, aproximadamente, a 10.000 km (CREASE, 2013). Dividindo-se o valor por 10.000.000, chegou-se ao metro. Entretanto, por alguns erros de medição de Méchain, esse valor não é tão exato (ALDER, 2003).

Por volta de dois meses depois, o metro foi materializado em uma barra de platina-irídio (ver **Figura 6**) (CREASE, 2013).

O quilograma equivalia a massa de um decímetro cúbico de água (CREASE, 2013). É importante citar, que desde o início da criação do Sistema Métrico Decimal, os estudos referentes à massa contaram com enormes contribuições de Lavoisier (1743-1794) (CREASE, 2013), que fez diversos experimentos referentes à massa, chegando à Lei de Conservação das Massas.

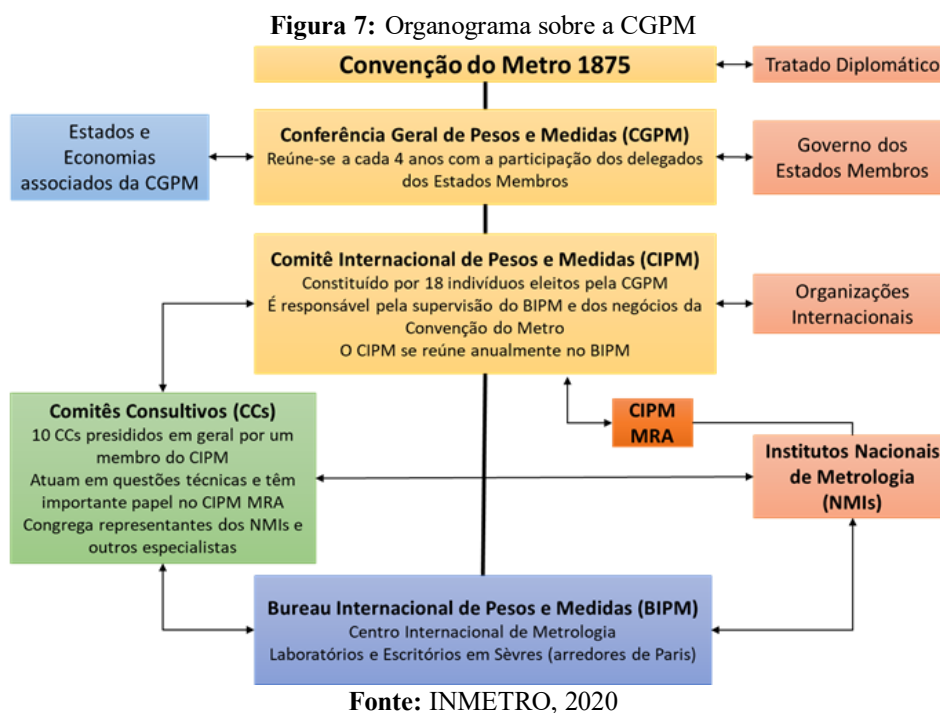
Figura 6: Réplica em “X” do padrão internacional do metro exposto na sede do BIPM.



Fonte: Focus Metrologia, 2022

Por não ser uma mudança simples e imediata, foi somente em 1875 que o sistema métrico decimal foi implementado como o único sistema legal na França, a partir da Convenção do Metro, que foi um contrato diplomático entre 17 países, que tinha por objetivo adotar o metro como unidade padrão (CREASE, 2013).

Assim, as convenções e reuniões continuaram a existir e foram responsáveis por diversas alterações e decisões das unidades de medida (ver **Figura 7**).



5.1 A Conferência Geral de Pesos e Medidas

A convenção do metro possibilitou a discussão sobre a melhor definição de uma unidade de medida, elaborando medidas que permitissem resultados mais fiéis, assim como consequentes órgãos responsáveis por administrar a eficiência da maneira em que o metro está definido, a citar a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), que administra e avalia o Sistema Internacional de Unidades (SI). Sua existência é imprescindível para os novos rumos do SI, como para suas novas definições, buscando ainda mais precisão. Atualmente, apresenta 62 estados-membros e 42 associados (INMETRO, 2020). Assim, em cada reunião se discute sobre os padrões do SI e para a sua melhor exatidão e universalização, se necessário, propõem novas definições para as grandezas, como mostrado no **Quadro 1**:

Quadro 1: Reuniões da CGPM em ordem cronológica de 1889 a 2018

REUNIÕES DA CGPM		
REUNIÃO	ANO	PRINCIPAIS DECISÕES
1ª CGPM	1889	Sansão dos protótipos internacionais do metro e do quilograma.
2ª CGPM	1897	Nenhuma resolução foi aprovada.
3ª CGPM	1901	Litro redefinido como o volume de 1 kg de água
4ª CGPM	1907	Quilate = 200 mg adotado
5ª CGPM	1913	Proposição da Escala de Temperatura Internacional
6ª CGPM	1921	Convenção do Metro revisada
7ª CGPM	1927	Definição do metro pelo Protótipo internacional
8ª CGPM	1933	Necessidade de unidade elétrica absoluta identificada.
9ª CGPM	1948	Ponto triplo da água; escala termodinâmica com um único ponto fixo
10ª CGPM	1954	Definição da escala de temperatura termodinâmica.
11ª CGPM	1960	1ª redefinição do metro (comprimento de onda do átomo de criptônio)

12ª CGPM	1964	Padrão atômico de frequência
13ª CGPM	1967/68	1ª redefinição do segundo (períodos de radiação do átomo de Césio 133)
14ª CGPM	1971	O mol é a unidade SI de quantidade de matéria.
15ª CGPM	1975	Valor recomendado para a velocidade da luz, $c = 299.792.458$ m/s.
16ª CGPM	1979	A candela é a unidade SI de intensidade luminosa.
17ª CGPM	1983	2ª redefinição do metro (em termos da velocidade da luz)
18ª CGPM	1987	Próximos ajustes para as representações do volt e do ohm.
19ª CGPM	1991	Novos prefixos yocto, zepto, zetta e yotta.
20ª CGPM	1995	Radiano e esferorradiano tornaram-se unidades derivadas.
21ª CGPM	1999	Nova unidades SI derivadas, o katal = mol por segundo.
22ª CGPM	2003	Ambos o ponto e a vírgula são reafirmados como marcadores decimais
23ª CGPM	2007	Definição do kelvin esclarecida. Possível revisão de certas unidades.
24ª CGPM	2011	Redefinição do quilograma em relação à constante de Planck aceita .
25ª CGPM	2014	Discutida a redefinição do quilograma para ser adotada na 26ª reunião.
26ª CGPM	2018	Todas as unidades do SI são definidas em termos de constantes.
27ª CGPM	2022	Quatro novos prefixos são adotados: quecto, ronto, ronna e quetta.

Fonte: BIPM (adaptado pelo autor)

5.2 O Bureau Internacional de Pesos e Medidas

Complementando o intuito de oferecer uma unidade de medida com maior precisão – consequência da convenção do metro – o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) veio somar à comunidade científica, comprometendo-se com a missão da então definição do metro. A **Figura 8** mostra a entrada do prédio do BIPM na França, no Séc. XIX.

Figura 8: Entrada do BIPM, Sèvres, França, em 1875



Fonte: BUDA, 2019

Seu principal objetivo é garantir a uniformização das medidas do SI, sob a jurisdição da Convenção do Metro, e opera por meio de comitês consultivos, além de laboratórios nacionais de Metrologia (de estados-membros ou do próprio BIPM) (INMETRO, 2003).

Além disso, realiza pesquisas para novas definições e melhorias no que se refere às unidades de medida, assim como comparações e calibrações. O Bureau International é encarregado de:

- Estabelecer os padrões fundamentais e as escalas das principais grandezas físicas, e de conservar os protótipos internacionais;
- De efetuar a comparação dos padrões nacionais e internacionais;
- De assegurar a coordenação das técnicas de medidas correspondentes;
- De efetuar e de coordenar as determinações relativas às constantes físicas que intervêm naquelas atividades (INMETRO, 2003).

5.3 O Comitê Internacional de Pesos e Medidas

Juntando-se à CGPM e ao BIPM, mantendo a premissa da precisão do metro, surgiu o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM). Essa tríade de organismos se comprometeria, assim, com a eficiência do Sistema Métrico Decimal. Esse comitê tem o objetivo de promover a uniformidade entre as unidades de medida, em âmbito mundial, de forma direta ou por meio da CGPM (BIPM).

O CIPM é composto por 18 cientistas, de diferentes nacionalidades. As reuniões ocorrem anualmente e discutem vários assuntos e, dentre eles, os relatórios apresentados pelos seus Comitês Executivos (BIPM).

As responsabilidades do CIPM, segundo o BIPM, são:

- Discutir o trabalho do BIPM sob a autoridade delegada da CGPM;
- Emitir um Relatório Anual sobre a situação administrativa e financeira do BIPM aos governos dos Estados Partes da Convenção do Metro;
- Discutir o trabalho metrológico que os Estados Membros decidam realizar em comum e estabelecer e coordenar atividades entre especialistas em metrologia;
- Fazer recomendações apropriadas;
- Relatórios da comissão em preparação para reuniões da CGPM.

6 O SISTEMA MÉTRICO DECIMAL NO BRASIL

No Brasil, a medição iniciou-se há muito tempo atrás. Com os povos indígenas, devido a sua organização social, não havia uma demanda de um sistema estruturado de pesos e de medidas. Já no Período Colonial, os pesos e medidas utilizados eram, predominantemente, as de Portugal, as quais “tiveram sua raiz em medidas originárias do Egito, da Grécia, de Roma e em outras trazidas pelos árabes” (MOREIRA, s.d., n.p.)

No século XVII, com o advento do ciclo do ouro e do tráfico negreiro, o Brasil começou a sofrer grandes influências dos povos africanos, entretanto, não foi tão expressiva, “em função da hegemonia política e econômica dos portugueses, que controlavam todo o aparato do estado e o poder legislativo, judiciário e militar” (MOREIRA, s.d., n.p.). Além de que vários africanos tinham, não só origens geográficas distintas, mas também culturais e, ao chegarem ao território brasileiro, ficavam dispersos.

Embora houvesse, na colônia, ainda que de forma embrionária, um sistema de medidas geral, com a mesma referência da Metrópole, tinha uma grande variação entre os valores das unidades. Assim, o Brasil acompanhava, descompassadamente, Lisboa. Existia o interesse na padronização, porém o cenário não era favorável para que isso se realizasse:

Embora houvesse já uma preocupação do Estado com um determinado controle dos padrões, expressa na existência da categoria dos aferidores, a predominância agrária na Colônia, a fraqueza das cidades, os lentos avanços técnicos nas áreas de maior atividade (engenhos e minas, por exemplo), a restrição de comércio com o exterior e a ausência de solicitações vinculadas a um desenvolvimento científico inexistente criavam um panorama que não exigia uma definição mais uniforme dos padrões ou a melhoria de precisão, nem favorecia o aprimoramento do sistema de pesos e medidas existente. (MOREIRA, s.d., n.p.)

No Brasil Imperial, as unidades eram baseadas naquelas utilizadas em Portugal. Ainda no Primeiro Reinado, pouco antes de D. Pedro I (1798-1834) deixar o trono, Cândido Baptista de Oliveira (1801-1865), deputado gaúcho, sugeriu a adoção do sistema métrico decimal, em 1830 (INMETRO, 2018). O contexto em questão favorecia a definição, já que o Brasil havia declarado independência à Portugal, além da abertura dos portos, ou seja, era gerido de maneira emancipada (MOREIRA, s.d., n.p.). Tendo em vista esse desejo, foi feito o seguinte projeto de lei, em 12 de 1830:

“Art. 1º. O atual sistema legal de Pesos e Medidas será substituído em todo o império pelo Sistema Métrico, adotado por lei, e atualmente usado em França. Art. 2º. É o governo autorizado para mandar vir de França os necessários padrões desse sistema; e a tomar todas as medidas que julgar convenientes a bem da pronta, fácil e geral execução do artigo precedente”. (MOREIRA, s.d., n.p.)

Somente em 26 de junho de 1862, no Segundo Reinado, foi que, por lei, foi definida a adoção do sistema métrico decimal francês em todo território nacional, através da Lei Imperial nº 1157. O Brasil foi uma das primeiras nações a assinar a Convenção do Metro, a qual foi instaurada em 20 de maio de 1875 (INMETRO):

Uma Comissão composta por Antonio Gonçalves Dias, Giacomo Raja Gabaglia e Guilherme Schuch de Capanema obteve contato com o sistema métrico francês, o que possibilitou o início das conversas para adoção desse sistema no Brasil, que realmente acabou acontecendo em 1862 após valiosas discussões na Câmara dos Deputados. (LIMA, s.d., n.p.)

Ressalta-se, ainda, que Cândido Baptista Oliveira foi professor de matemática do então imperador do Brasil, D. Pedro II. É ainda perceptível o quanto Pedro II interessava-se por Ciência, sendo um de seus influenciadores, o grande defensor do sistema métrico no Brasil, o qual, juntamente com Capanema, fazia parte do grupo de discussões do imperador (ZUIN, 2007, p. 109).

É importante salientar que, apesar de o Brasil ser uma das primeiras nações a assinar a Convenção do Metro, a instalação do sistema métrico decimal levou aproximadamente 100 anos para ser implantado, saindo e entrando diversas vezes da CGPM. Vários foram os acontecimentos que fizeram com que os fatos sucedessem dessa forma. O processo para a aplicação do SMD em terras brasileiras se deu de forma lenta e gradual, lembrando ainda que a legislação (Lei 1.157) indicava essa mudança até nas escolas, visando a modificação da mentalidade através da educação.

Para Souto Maior (1978), a Lei 1.157 não foi precipitada e radical, mas cautelosa, por substituir gradualmente os antigos padrões. No entanto, comparando com a oficialização do sistema francês em Portugal, observaremos que os portugueses tiveram igualmente dez anos para implementar o novo sistema, mas a lei nada determinava sobre a escolarização do sistema métrico. Nesse ponto, no Brasil, a Lei foi radical e entendemos que visava a mudança de mentalidade dos sujeitos através da educação. (ZUIN, 2007, p. 109)

Entretanto, as medidas tomadas no território brasileiro eram de difícil acesso, já que não chegavam a todas as regiões. Além disso, no século XIX, havia um grande número de pessoas analfabetas e que também não tinham acesso à escola. Assim, com essa desigualdade, já era de se esperar que o letramento não era universal, pois, além de a informação em si não ser estabelecida de maneira correta, o ensino também ocorreu da mesma forma e, com isso, muitas pessoas sentiram-se ludibriadas por essa exigência.

Destacamos as questões culturais, os hábitos e costumes da população, que sofreram a repentina interferência do governo sem que houvesse uma preparação para isso. O ensino do novo sistema em escolas primárias e a distribuição de tabelas de conversão, previstos na lei de 1862, não foram suficientes, uma vez que não abrangeu toda a população, que era de maioria analfabeta segundo o censo de 1872.

Além disso, as medidas tomadas na Corte nem sempre eram exemplarmente executadas no “Norte do Império”. Sendo assim, as manifestações mais violentas das revoltas ocorreram na região, pois toda a insatisfação da população contra o governo foi reunida nas manifestações dos quebra-quilos. (LIMA, s.d., n.p.)

Por esse motivo, em um contexto de desigualdade e falta de informação, a instalação do SMD no Brasil não ocorreu sem revoltas sociais e a sequência desses fatos foi conhecida como Revolta de Quebra-quilos (mais precisamente, revoltas, pois vários motins ocorreram). Visando a situação em que estavam passando, pequenos comerciantes e homens livres pobres reivindicaram a adoção desse modelo, pois ia contra também ao que, culturalmente, conheciam. É importante frisar que não era um movimento que pretendia manter um conservadorismo, mas envolve uma vulnerabilidade daqueles que são esquecidos pelo Estado e que se veem perdidos nas suas atividades cotidianas, sem uma razão clara do motivo pelo qual aquilo estava ocorrendo (LIMA, s.d., n.p.).

Com o crescimento industrial brasileiro, no século XX, era necessário que houvesse um órgão responsável por regulamentar as mercadorias, protegendo produtores e consumidores, impulsionando o mercado brasileiro. Foi assim que, em 1961 foi criado o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM) (INMETRO, 2018). Para melhor execução de suas tarefas foi adotado, em 1962, o Sistema Internacional de Unidades. Para que as medidas metrológicas criadas atinjam todas as regiões do País, existem os Órgãos Estaduais (hoje Órgãos Delegados), que são responsáveis pela execução dessas atividades.

Com os novos desafios presentes no mercado, com cada vez mais tecnologias e exigências, foi criado, em 1973, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, chamado atualmente de Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), cuja imagem aérea da infraestrutura é mostrada na **Figura 9**. Este órgão tem a seguinte finalidade: “Sua missão é promover confiança à sociedade brasileira nas medições e nos produtos, por meio da metrologia e da avaliação da conformidade, promovendo a harmonização das relações de consumo, a inovação e a competitividade do País” (INMETRO, s.d., n.p.).

Figura 9: Campus do INMETRO em Xérem/RJ

Fonte: ASMETRO-SI, 2019

Traçando um histórico das unidades de medida no Brasil é importante salientar que a Metrologia no Brasil é acompanhada de problemas como a negligência com os cuidados de artefatos e registros, o que prejudica a pesquisa e a sistematização. Além do mais, ainda há uma grande falta de informação sobre a importância da padronização das unidades de medida, assim como a escassez de materiais nacionais que abordem a ciência da medição. Visando isso, o INMETRO tem o desejo de combater essa desinformação através do museu de metrologia e de ações que amplifiquem conhecimentos sobre essa Ciência:

No Brasil, os estudos sobre a história das técnicas ainda são limitados. Além do pequeno número de estudiosos e do baixo estímulo institucional, o descuido generalizado em preservar instrumentos, documentos e materiais científicos e técnicos, entre os quais os padrões de medida, dificulta a pesquisa nesse domínio. Há também pouca percepção social quanto ao significado da metrologia. Seria importante se ter, e isto vem sendo discutido no INMETRO (uma instituição importante para a metrologia no país e que comemora seus 40 anos em 2013) ações mais eficazes e amplas para a difusão de conhecimentos metrológicos junto à população, bem como a criação de um museu da metrologia. Tais questões estão também quase completamente ausentes nos textos e livros sobre a história cultural, econômica e política do país e também dos livros didáticos usados na educação básica. Por isso, as investigações que se fazem nesta área pagam o preço do material histórico escasso e das poucas reflexões acumuladas. (MOREIRA; MASSARINI, 1997, p. 5)

7 O SISTEMA IMPERIAL

Originário dos romanos e anglo-saxões, o sistema imperial, conhecido largamente como unidade inglesa, é baseado em partes do corpo humano, como pés, polegadas. Atualmente, somente Estados Unidos, Libéria e Birmânia utilizam esse sistema (Language Trainers, 2020) (ver **Figura 10**). A Inglaterra, mesmo adotando oficialmente o SI, ainda utiliza algumas unidades do sistema imperial.

Figura 10: Países (em vermelho) que adotam o sistema imperial



Fonte: NETO, 2020

Na Inglaterra, a Carta Magna de 1215 definia um sistema inglês por lei. Nos posteriores anos de 1496, 1588 e 1758 as unidades foram sendo renomeadas (Wikipédia, 2019). Dessa forma, as unidades inglesas foram sendo disseminadas a partir da Grã-Bretanha e das colônias britânicas. Essas unidades formaram a base do sistema imperial (depois de herdado dos romanos e dos anglo-saxões) adotado por outras regiões (Wikipédia, 2019).

Em 1824 passou por alterações no Reino Unido pela *Weights and Measures Act* (Lei de Pesos e Medidas), uma legislação que regulou e padronizou os pesos e medidas no parlamento inglês, mudando algumas definições das unidades, mas mantendo alguns de seus nomes (SÓ MATEMÁTICA, 2022). Por mais parecidas que sejam as medidas inglesas, elas têm diferenças com as adotadas nos EUA, segundo Lager (1996). Com a independência dos Estados Unidos, algumas medidas se distanciaram. Posteriormente, tentaram padronizar, de certa forma, as unidades imperiais, por meio dos padrões oficiais de 1850 e também em 1960, quando os dois países redefiniram a jarda e a libra, com base no sistema métrico afirma Lager

(1996). Ainda com essas mudanças os sistemas possuem diferenças, como mostradas no **Quadro 2**, as quais são temas de muitas discussões como mencionado a seguir:

Essas discrepâncias são um tópico comum de discussão entre os turistas. No Reino Unido, bebidas costumam ser compradas em pintas e a pinta britânica é maior do que a pinta americana. O mesmo é válido para os galões. Piadas sobre os americanos não serem capazes de aguentar a bebida e os britânicos serem roubados com o preço da gasolina são frequentes. (LAGER, 1996, n.p.)

Quadro 2: Unidades do sistema imperial

UNIDADES DO SISTEMA IMPERIAL		
COMPRIMENTO		
UNIDADE	SÍMBOLO	EQUIVALE A
polegada	<i>In</i>	0,0254 m
pé	<i>Ft</i>	0,3048 m
jarda	<i>Yd</i>	0,9144 m
milha	<i>Mi</i>	1.609,344 m
VOLUME LÍQUIDO		
pint (EUA)	<i>Pt</i>	473,176473 ml
pint (Reino Unido)	<i>Pt</i>	568,26125 ml
galão (EUA)	<i>Gal</i>	3,785411784 L
galão (Reino Unido)	<i>Gal</i>	4,54609 L
barril (EUA)	<i>Bbl</i>	158,987294928 L
barril (Reino Unido)	<i>Bbl</i>	159,11315 L
onça líquida (EUA)	<i>Fl oz</i>	29,5735295625 ml
onça líquida (Reino Unido)	<i>Fl oz</i>	28,4130625 ml
MASSA		
onça	<i>Oz</i>	28,35 g
libra	<i>Lb</i>	453,59237 g

Fonte: Wikipédia, 2022 (adaptado pelo autor)

Nos EUA, com as redefinições de 1960, são utilizados os dois sistemas: o métrico e o imperial. Com isso, é discutido a adoção de um sistema único (SÓ MATEMÁTICA, 2022). Um dos impactos acerca disto é que na escola, por exemplo, se tivesse somente uma unidade padrão seriam economizados 82 dias de ano letivo, além de estimados 17 milhões de dólares (Canal Metrologia, 2018). Além disso, problemas para a conversão de medidas podem ocorrer. Um fato interessante, ocorrido em 1999, foi que a Estação Orbital Climática de Marte, por exemplo, foi perdida na órbita de Marte, porque uma parte dos engenheiros utilizou o Sistema Imperial, enquanto a outra usava o Sistema Métrico para navegar, segundo investigações da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (ALDER, 2003). Um dos motivos para não usar de uma vez por todas o sistema métrico seria pelos custos às

indústrias, já que a mudança das unidades alteraria as definições adotadas pelas indústrias, tanto na produção e em equipamentos, quanto no ato de compra (SÓ MATEMÁTICA, 2022).

7.1 A unidade imperial polegada

A polegada (*in*) é a unidade de comprimento usada no sistema imperial de medidas. Criada pelo rei Eduardo I, da Inglaterra no século XVI, ela equivale a 2,54 cm e compreende a largura entre a base da unha e a ponta do dedo (SILVA, s.d., n.p.), (ver **Figura 11**). Apesar de adotarmos o Sistema Internacional de Unidades no Brasil, a polegada é comumente utilizada no tamanho das telas de televisores, assim como em monitores de computadores, celulares e tablets, que é a medida da diagonal da tela. Portanto, para uma televisão de 52 polegadas aplicando uma regra de três simples e direta, tem-se 132 cm de diagonal.

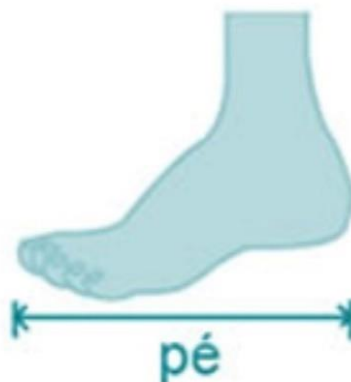
Figura 11: A medida imperial polegada



Fonte: Só matemática, 2022

7.2 A unidade imperial pé

O pé (*ft*) também é uma unidade de comprimento usada no sistema imperial de medidas. Originada da Grécia Antiga, ela equivale a 0,3048 metros ou 12 polegadas (ver **Figura 12**). Nas civilizações antigas a medida pé foi bastante utilizada para medir blocos de pedra, pedaços de madeira, como também as construções e os espaços em geral. Na atualidade a medida é empregada no setor da aviação para informar a altitude das aeronaves, como também nas embarcações para determinar as suas dimensões (MERIEVERTON, 2016).

Figura 12: A medida imperial pé

Fonte: Só matemática, 2022

7.3 A unidade imperial jarda

A jarda (*yd*) é mais uma unidade de comprimento do sistema imperial de unidades. Fixada pelo rei Henrique I da Inglaterra, no século XVII, a jarda é a distância entre o nariz e o polegar do seu braço estendido. 1 jarda equivale aproximadamente 0,9144 metros (SILVA, s.d.), (ver **Figura 13**). A área de um campo de futebol americano é dada em jardas. Por isso, as distâncias percorridas pelos jogadores nas partidas de futebol americano são narradas em jardas.

Figura 13: A medida imperial jarda

Fonte: SILVA, s.d.

7.3 A unidade imperial milha

A milha (*mi*) é outra unidade de comprimento do sistema imperial de unidades. Originada da Roma Antiga, a medida equivale a 1.609,344 metros. Um evento que retrata bem essa unidade de medida é a famosa corrida automobilística, as 500 milhas de Indianápolis (ver **Figura 14**). A pista de circuito oval possui 2,5 milhas (cerca de 4 km), onde

os pilotos, para completar a prova, precisam dar 220 voltas no sentido anti-horário, ou seja, percorrer 500 *mi*, que equivale aproximadamente a distância de 800 km.

Figura 14: 500 milhas de Indianápolis



Fonte: Wikiwand, 2022

7.4 A unidade imperial pint

O pint (*pt*) é a unidade de volume do sistema imperial de unidades. Os pints imperiais são unidades usadas para servir cerveja, que no caso é um tipo de copo. Nos Estados Unidos a medida do pint é de 473 ml (ver **Figura 15**). Já na Inglaterra, sob força de uma lei, os pints são obrigados a terem 560 ml, tendo o estabelecimento a obrigação de garantir a quantidade exigida no copo, sob pena de multa pelo governo inglês (DIDGE, 2019).

Figura 15: Copo cerveja pint 473 ml

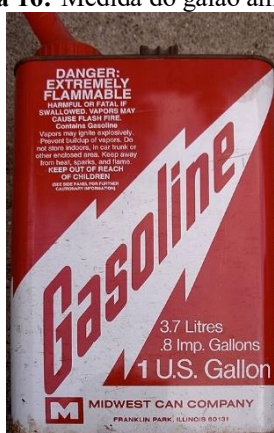


Fonte: INDRUPOPIL, 2022

7.5 A unidade imperial galão

O galão (*gal*) é uma das unidades de volume do sistema imperial de unidades. De origem anglo saxônica, a medida de capacidade de fluido é usualmente utilizada para medir a gasolina. Mas no começo da sua utilização, no século XIX, a medida do galão imputava-se às embalagens de distribuição de colheita de milho e vinho (SAWAKINOME, s.d.). Temos três categorias de galão: o britânico, que equivale a 4,54609 litros. O americano, que equivale a 3,755411784 litros (ver **Figura 16**) e o galão seco americano, usado para substâncias sólidas, no valor de 4,40488347086 litros.

Figura 16: Medida do galão americano



Fonte: Wikipédia, 2022

7.6 A unidade imperial barril

O barril (*bb*) é também uma das várias unidades de volume do sistema imperial de unidades. Contudo, existem diferentes tipos para esse tambor (termo usado para o barril). Tem-se barris secos, barris fluidos (que são barris de cervejas utilizados comumente no Reino Unido e nos EUA) e os barris de petróleo (ver **Figura 17**), muito conhecido do nosso cotidiano (STRINGFIXER, s.d.). Historicamente, o barril possui variações nos lugares que o adotam, desde a era medieval, período em que foi adotado e seu nome derivado do francês *baril*. Hoje, essa variação pode corresponder entre 100 a 200 litros (22 a 44 galões imp; 26 a 53 galões americanos). Além disso, vem sendo substituído pelas unidades do SI, na maioria dos países, e, em outras línguas, refere-se a um objeto físico e não à unidade. Entretanto, ainda é utilizado no mercado internacional, como no preço do barril de petróleo, com o preço em dólares nos EUA.

Figura 17: Barris de petróleo

Fonte: PASSARINHO, 2022

7.7 A unidade imperial onça líquida

A onça líquida ou fluida (*Fl oz*) é uma das unidades de volume do sistema imperial de unidades. De origem dos países anglo saxões essa unidade é utilizada para indicar certos recipientes (ver **Figura 18**), como embalagem de líquidos ou mamadeiras. A onça fluida imperial é baseada no galão imperial, ou seja, 1/160 do mesmo (0,00625 galões imperiais), que é aproximadamente 28,41 ml. Já a onça fluida dos EUA que também é baseada no galão líquido americano, 1/128 desse galão (0,0078125 galões americanos), correspondente a 29,57 ml (STRINGFIXER, s.d.).

Figura 18: Recipientes no Brasil e nos EUA

Fonte: clubes.obmep.org.br, 2022

7.8 A unidade imperial onça

A onça (*oz*) é uma das unidades de massa do sistema imperial de unidades. A medida deriva da *uncia*, medida do Império Romano que pesava aproximadamente 27,3 gramas. É comumente utilizada em pequenos produtos embalados (ver **Figura 19**), tais como:

caixas de cereais, pacotes de bolacha, etc. (BUENO, 2012). Dependendo do sistema adotado, a onça terá valores diferentes, como no caso do sistema avoirdupois, usado para pesar objetos em geral, uma onça avoirdupois equivale a 437,5 grãos ou 28,349523125 gramas. Por outro lado, no sistema troy, relativo a metais preciosos e gemas, assim como medicamentos, a onça troy corresponde a 480 grãos ou 31,1034768 gramas (WIKPÉDIA, s.d.).

Figura 19: Batata frita embalada



Fonte: NGWING, 2022

7.9 A unidade imperial libra

A libra (*lb*) é a unidade de massa do sistema imperial de unidades. É uma unidade descendente da libra Romana. Como a onça, a unidade libra tem seus valores de acordo com o sistema adotado. No avoirdupois o seu valor é 7.000 grãos ou 453,59237 gramas. Já a libra troy correspondente a 5.760 grãos ou 373,241721 gramas. Se o sistema não for identificado, avoirdupois ou troy, valerá a libra avoirdupois (WIKIPÉDIA, s.d.). A libra historicamente enquanto unidade de medida de massa data-se anteriormente ao entendimento sobre a distinção entre força e massa. Portanto, se faz necessário esclarecer que a libra-força é a força obtida através da força gravitacional exercida sobre a massa de uma libra avoirdupois (libra-massa) na superfície da terra, ou seja, pelo produto da libra avoirdupois (0,45359237 kg) pela aceleração da gravidade ($9,80665 \text{ m/s}^2$), que tem o seu valor exatamente igual a 4,4482216152605 N. Já a Psi, libra força por polegada quadrada (lbf/in^2) vem ser a pressão resultante da força de uma libra-força aplicada a uma área de uma polegada quadrada (in^2) (WIKIPÉDIA, s.d.). Essa unidade é muito usada nas medidas de pressão nos pneus de automóveis e motocicletas, como mostra a **Figura 20**.

Figura 20: Calibragem de pneu em Psi.



Fonte: DRCAR, 2022

8 O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

A criação do sistema métrico decimal, assim como a busca pela padronização de medidas, foi de suma importância para o desenvolvimento do mais tarde chamado Sistema Internacional de Unidades (SI), o qual foi criado durante a 11ª CGPM, realizada em 1960 (SBF, 2019).

O SI é composto por 7 grandezas fundamentais, as quais são apresentadas no

Quadro 3:

Quadro 3: Unidades do SI

UNIDADES DO SI		
GRANDEZA	UNIDADE	SÍMBOLO
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
intensidade de corrente elétrica	ampère	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mol	mol
intensidade luminosa	candela	cd

Fonte: HALIDAY; RESNICK; WALKER, 2016 (adaptado pelo autor).

Além disso, ainda conta com grandezas derivadas, conforme mostra o **Quadro 4:**

Quadro 4: Grandezas derivadas do SI

GRANDEZAS DERIVADAS DO SI		
GRANDEZA	UNIDADE	SÍMBOLO
força	newton	N
velocidade	metro por segundo	m/s
aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s ²
volume	metro cúbico	m ³
área	metro quadrado	m ²
frequência	hertz	Hz
potência	watt	W
pressão	pascal	Pa
massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m ³
energia	joule	J

Fonte: HALIDAY; RESNICK; WALKER, 2016 (adaptado pelo autor)

A definição das unidades do SI é reformulada e revisada ao longo do tempo, com o objetivo de chegar a unidades ainda mais exatas. Assim, a partir de convenções e conferências os métodos para se definirem as grandezas foram sendo discutidos (BIPM).

Decidiu-se, através da CGPM e de seus órgãos, então criar um método que não dependesse de artefatos e experimentos em que houvesse muitas alterações no decorrer do tempo, mas de constantes, as quais podem ser acessadas em qualquer parte do mundo, além de definirem as unidades de maneira mais precisa e sem muitas variações (SBF, 2019, p. 3). Assim, a Sociedade Brasileira de Física (SBF) nos diz:

No sistema em vigor até 19 maio de 2019, os valores das constantes fundamentais eram determinados a partir de experimentos. O quilograma era definido a partir de um protótipo internacional, um cilindro de uma liga de platina e irídio e essa era a unidade utilizada para determinar a massa de um próton, de um elétron ou de outras partículas elementares. Isso levava à situação notável de que os valores das constantes fundamentais estavam em um estado permanente de mudança, já que nossas capacidades de medição eram refletidas nesses valores. A cada quatro anos, para citar um exemplo, um novo valor numérico era atribuído à carga de um elétron. Na realidade, a carga em si não mudou de maneira alguma. O que mudava era meramente nossa capacidade na arte de medir e, portanto, nossa compreensão do mundo. (SBF, 2019, p. 3)

Portanto a partir da 26^a CGPM, realizada em 20 de maio de 2019 temos pela primeira vez na história do SI, um sistema totalmente estabelecido em termos de constantes naturais. Essa fundamentação do novo SI estrutura-se na separação das definições das unidades e suas realizações práticas; na relação das definições das unidades às constantes naturais e na elaboração para conservar-se ao longo do tempo sem estar sujeito às mudanças correspondentes aos avanços empregados nos métodos de medição.

O grande avanço conceitual do novo SI consiste em separar a realização prática das unidades de suas definições. Isso permite que as unidades sejam materializadas independentemente em qualquer lugar e a qualquer momento, conforme previsto pelo Comitê de Especialistas do Sistema Métrico Decimal em 1789. Isso também permite que novos tipos de realizações sejam adicionados no futuro à medida que novas tecnologias são desenvolvidas, sem ter que modificar a definição da própria unidade. Um exemplo disso vem das novas tecnologias quânticas e do desenvolvimento do relógio quântico que mudará a realização experimental de um segundo em um futuro próximo. (MARTIN-DELGADO, 2020, n.p.)

Essas mudanças não alteram muito o cotidiano, como na medição de contas de energia, água ou em indústrias, ao contrário de Institutos Nacionais de Metrologia e em atividades que demandam exatidão e incertezas do mesmo modo que afetarão as unidades (SBF, 2019, p. 5). Assim também, ao longo da História e da Ciência, percebe-se que quanto mais se chega a uma grandeza mais exata e precisa, maiores as chances do desenvolvimento de novas tecnologias ou do melhoramento delas (SBF, 2019, p. 5).

Conceitos como “unidades base” ou “unidades derivadas” não se mostram mais necessárias, porque todas as unidades são “derivadas” de constantes, ainda que possam ser utilizadas por fatores históricos (SBF, 2019, p. 4).

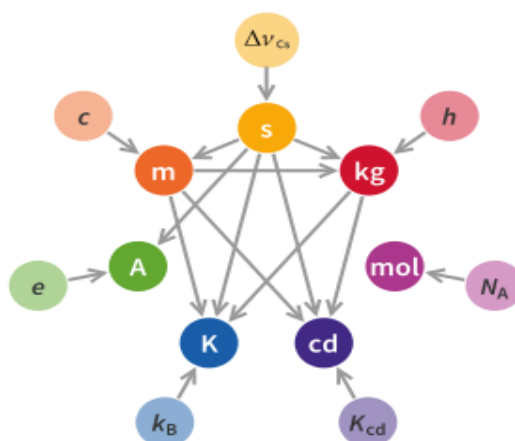
Isso significa que as constantes naturais servem como grandezas definidas, que, juntamente com as leis da física, permitem construir um sistema de unidades de medida que é verdadeiramente universal, acessível a todos, e que não requer objetos físicos ou “artefatos” como referência. (WIERSMA; MANA, 2021, n.p.)

Para a definição mais atualizada das unidades de medidas, são associadas à cada grandeza uma constante, que pode ser uma constante física ou um valor preciso obtido por um experimento. Além disso, são utilizadas, algumas vezes a definição de outras grandezas, assim como sua constante adotada (CANAL METROLOGIA, 2018). Isso é possível graças a experimentos com bases cada vez mais exatas, assim como a instrumentos de medição com tecnologias mais avançadas (CANAL METROLOGIA, 2018). Tudo isso permite uma maior precisão às grandezas do SI, que serão apresentadas nos subtópicos a seguir.

8.1 As constantes do SI

A nova definição do SI permite a conexão entre a maior parte das unidades bases, como mostra a **Figura 21**. Portanto, cada unidade e constante principal associada que tem conexão com outra unidade, compartilha também o que é utilizado para sua definição, ou seja, sua constante. Assim, "as novas dependências entre as unidades no novo SI são agora muito mais simétricas do que no sistema anterior" (MARTIN-DELGADO, 2020, n.p.), associando a maior parte de suas unidades e constantes.

Figura 21: Relação esquemática entre as unidades básicas do novo SI e suas constantes naturais associadas



Fonte: MARTIN-DELGADO, 2020, n.p.

As unidades, exceto o mol, possuem relações umas com as outras. Já as constantes que definem cada uma das 7 unidades ficam externas à elas.

"O novo sistema se move para redefinir a maioria das unidades básicas SI no modelo do metro: as definições do quilograma, do anão, do kelvin e da toupeira baseiam-se em certas leis da natureza e na escolha de constantes fundamentais cujos valores são congelados, pois foram medidos com uma incerteza suficientemente pequena para permitir a revisão do sistema sem introduzir inconsistências. Um tal sistema de unidades, baseado em constantes fundamentais (velocidade da luz, constante de Planck, constante de Boltzmann, constante de Avogadro), espera-se que melhor cumpra as demandas de invariabilidade, permanência, acessibilidade e universalização que são necessárias de um sistema de unidades". (COURTENAY; DARRIGOL; SCHLAUDT, 2019, n.p.)

Consequentemente, com a fixação desses valores, é possível obter, experimentalmente, outras constantes. Por isso, a determinação das constantes é de suma importância para o conhecimento de fenômenos físicos. Das sete constantes do SI, cinco são fundamentais.

"As leis da física e da química nos permitem descrever fenômenos naturais uma vez que os valores das constantes são conhecidos, onde é essencial poder fazer medições exatas e precisas para saber se uma nova descoberta foi realmente encontrada". (MARTIN-DELGADO, 2020, n.p.)

Diante disso, é importante que haja uma compreensão do que corresponde a uma constante, assim como seu significado. Tendo como base o SI, depreende-se que a definição das unidades advindas de constantes promove uma maior seguridade delas, já que se referem a valores que não variam com o tempo, portanto, segundo o BIPM, a nova definição do SI possui o seguinte objetivo:

As sete constantes que definem o SI foram escolhidas a fim de formar um conjunto que constitui uma referência fundamental, estável e universal, cujas realizações práticas permitem que sejam obtidas as menores incertezas possíveis. As convenções escolhidas e as especificações técnicas adotadas também levam em consideração os desenvolvimentos históricos. (BIPM, s.d., n.p.)

Para além disso, é importante entender que não existem somente as constantes utilizadas no SI, apesar de estas serem o ponto principal do presente trabalho. As constantes são diversas e correspondem ao funcionamento do mundo pelo qual conhecemos. A sutileza de seus valores representa não só leis, mas também a dinâmica presente no universo. Podemos até mesmo não saber seus valores exatos, por falta de aparatos tecnológicos suficientes, porém, tem-se a certeza de que são valores invariáveis e que garantem o equilíbrio e proporcionalidade das leis da natureza. Depreende-se, assim, o chamado Princípio Antrópico.

Assim, tem-se a existência de dois tipos de constantes: as dimensionais, que dependem do sistema de unidades e, portanto, podem ser calculadas, e as adimensionais, as

quais possuem valores fixos, independente da unidade adotada, como é o caso das constantes de estrutura fina e de acoplamento.

As constantes que definem valores invariáveis determinam as sete unidades do SI, o que corresponde a uma grande evolução na definição de medidas, porque permitem ainda mais exatidão, assim como a universalização desses padrões, por não serem definidos com base em artefatos. Com isso o BIPM menciona acerca das constantes na definição das grandezas do SI:

O SI é um sistema coeso de unidades que é usado em todos os aspectos da vida, seja comércio internacional, produção industrial, saúde e segurança, proteção ambiental, ou as ciências básicas que são a base de todas estas áreas. O sistema de grandezas que fundamenta o SI e as equações que definem as relações entre as grandezas são baseadas na descrição atual da natureza e são conhecidas de todos os cientistas, técnicos e engenheiros. As definições das unidades SI são estabelecidas a partir de um conjunto de sete constantes da Física. A partir dos valores fixos dessas sete constantes, expressos em unidades SI, é possível deduzir todas as unidades do sistema. Essas sete constantes são, portanto, o elemento mais essencial da definição de todo o sistema de unidades. A escolha específica destas sete constantes foi considerada a melhor possível, levando em consideração a anterior definição de SI, que se baseava em sete unidades básicas e avanços na ciência. (BIPM, s.d., n.p.)

Portanto, as constantes, assim adotadas pelo SI, não indicam somente melhores medidas realizadas no ramo da Metrologia: ela se expande para muitas áreas da Ciência e se torna essencial para a formulação e comprovação de teorias. Vale lembrar, que a ordem de mudança nas unidades não afetará as tarefas ordinárias como fazer compras em um supermercado, mas fazem uma diferença significativa em experimentos, por exemplo. Além do mais, poderá afetar positivamente as tecnologias disponíveis e o que se sabe sobre a dinâmica do Universo. Isso sim poderá mudar o cotidiano, mesmo que indiretamente, trazendo benefícios significativos. Assim, é estabelecido um importante elo entre a humanidade e a ciência, concedido pela Metrologia, atendendo a uma expectativa gerada desde que o Sistema Métrico foi criado: o de fixar medidas precisas o suficiente, as quais fossem acessíveis a todos e invariáveis.

"Elaborar um sistema de medição baseado em quantidades invariantes da natureza tem sido um objetivo desde o início do sistema métrico. A construção de um sistema de unidades baseadas em constantes fundamentais tornou-se possível hoje graças, por um lado, aos desenvolvimentos teóricos e experimentais do vigésimo século, que nos permitem medir as constantes fundamentais com inédita precisão, e, por outro lado, à descoberta de princípios de medição baseados em quantum (espectroscopia a laser, efeito Josephson, efeito Hall quântico) que estabelecem uma ponte entre o nível microscópico no qual ocorre a determinação das constantes fundamentais e a escala macroscópica na qual são realizadas medições comuns". (COURTENAY; DARRIGOL; SCHLAUDT, 2019, n.p.)

As duas outras constantes do SI, frequência de transição hiperfina do estado fundamental imperturbável do átomo de césio 133 e a eficiência luminosa, não são

fundamentais. Isso porquê, apesar de ter um valor fixo, são caracterizadas por eventos próprios, que possuem padrões observados. Assim, a frequência de transição hiperfina do estado fundamental imperturbável do átomo de césio 133 tem um valor preciso na transição hiperfina do átomo de césio 133, o qual é característico e, por isso, pode ser tomado como referência. Já a eficiência luminosa é uma constante convencional.

Além disso, são encontradas constantes que possuem relação com simetrias da natureza e, por isso, estabelecem importantes conexões com as leis físicas conhecidas. Isso é observado em três constantes presentes no SI, sendo elas: c (velocidade da luz no vácuo), h (constante de Planck) e e (carga do elétron). A velocidade da luz tem ligação direta com a Teoria da Relatividade e a constante de Planck, com a Mecânica Quântica. Já a carga do elétron, interliga-se às partículas elementares e à Eletricidade. Temos assim:

Nestes três exemplos, os valores das constantes fundamentais c , h e e são protegidos pelas simetrias da natureza. Uma medição cada vez mais precisa delas pode resultar em falta de constância e, portanto, na violação de uma das leis fundamentais da física. Então a metrologia também é uma fonte de descoberta de novas físicas através do aprimoramento ao longo do tempo de seus métodos de medição. (MARTIN-DELGADO, 2020, n.p.)

Tem-se também a constante de Boltzmann, importante para a Física Estatística e para o estudo da física microscópica e macroscópica. Assim também a constante de Avogadro, a qual indica a quantidade de matéria de um elemento e vastamente utilizada principalmente na Química. Essas duas constantes são muito importantes para o entendimento da matéria.

A hipótese atômica desempenha um papel fundamental na descrição da natureza. Ela afirma que a matéria não é um continuum, mas é discreta e feita de entidades elementares chamadas átomos. Feynman considerou-a a ideia mais importante de toda a ciência porque contém muita informação em poucas palavras, e a partir da qual se pode reconstruir muitas das propriedades que nos rodeiam, como a de que existem diferentes estados da matéria dependendo da natureza, temperatura e suas mudanças de fase. (MARTIN-DELGADO, 2020, n.p.)

Utilizando a filosofia de que todas as unidades base do SI sejam baseadas em termos de constantes fundamentais da natureza e fazendo uso dos padrões já existentes, determinamos da melhor forma possível a constante. Uma vez que a constante é determinada no melhor nível possível, ela então passa a ser definida como tendo um valor exato. Usando a definição com esse valor exato, passamos a determinar a unidade a partir da constante fundamental.

Portanto, a nova definição do SI, é dada fixando o valor das sete unidades em termos de sete constantes definidoras, e cada unidade estabelece várias combinações com essas constantes. Sendo assim, a definição de qualquer unidade base pode ser realizada sem

conhecer as demais unidades base, sendo apenas necessário os valores numéricos exatos das constantes definidoras, como veremos a seguir.

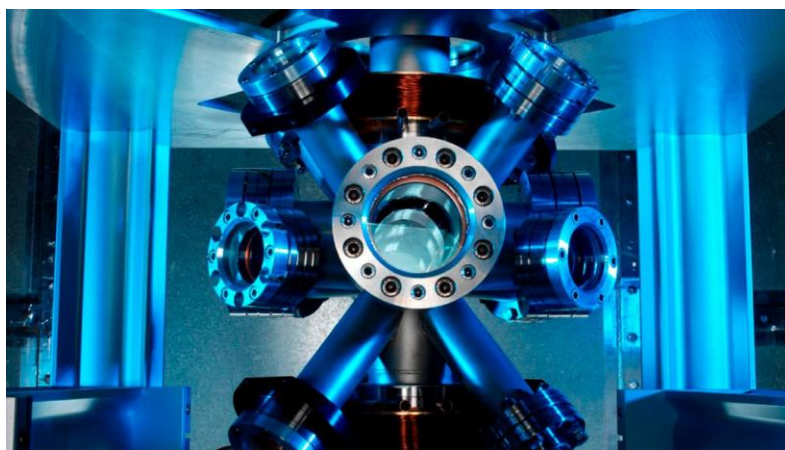
8.2 A unidade do SI segundo

O segundo (s) é a unidade de tempo estabelecida pelo SI. Anterior à 1960, essa unidade era definida por meio da fração de $1/86\,400$ do dia solar médio, o que depois foi observado, no entanto, que, por conta de irregularidades da rotação da Terra, era incoerente. Assim, visando uma maior precisão, a 11ª CGPM, definiu o segundo a partir do ano tropical de 1900, diante de resultados da União Astronômica Internacional (BROCHURA SI PT, s.d., n.p.). Foi depois definido, na 13ª CGPM, por meio da radiação do átomo de césio 133, a partir da transição entre dois níveis hiperfinos do átomo de césio 133 em estado fundamental.

Os relógios atômicos, como mostrado na **Figura 22**, auxiliam na medição dessa unidade, através das oscilações do átomo de césio 133. Assim, na nova definição do segundo houveram pequenas modificações que contribuíram ainda mais para a exatidão da grandeza, as quais foram realizadas na 26ª CGPM:

O segundo, símbolo (s), é a unidade de tempo do SI. É definido tomando o valor da frequência numérica fixa de césio, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, a frequência da transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio 133 não perturbado, é igual a $9\,192\,631\,770$ quando expresso em Hz, uma unidade igual a s^{-1} . (BIPM, s.d., n.p.)

Figura 22: Relógio atômico de césio



Fonte: CESAR, 2018

A constante da frequência de transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio 133 não perturbado “ $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ ” é o suporte para definir o segundo. Assim, esta definição

torna a relação $\Delta\nu_{C_s} = 9.192.631.770$ Hz exata, através da fixação de $\Delta\nu_{C_s}$. Quando invertemos, o segundo é expresso em função da constante $\Delta\nu_{C_s}$.

Pela definição, temos que:

$$\Delta\nu_{C_s} = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz} \quad (1)$$

Isolando a unidade Hz, fica:

$$1 \text{ Hz} = \frac{\Delta\nu_{C_s}}{9\,192\,631\,770} \quad (2)$$

Sabendo $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$, tem-se:

$$1 \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{C_s}} \quad (3)$$

Como mostra a Figura 21, o segundo tem conexão com as unidades de seis constantes ($\Delta\nu_{C_s}$, c , h , e , k e K_{cd}), exceto com a unidade da constante de Avogadro, N_A .

A relação equivale à duração de 9.192.631.770 períodos de radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo não perturbado de césio 133. É feita referência a um átomo não perturbado, para indicar que este não sofre interferência de um campo externo.

Essa materialização do padrão de tempo é um exemplo do caráter provisório das realizações experimentais das unidades do SI. Padrões baseados em césio existem desde os anos 60 do século XX. Atualmente, temos realizações mais precisas usando relógios quânticos e uma renovação do segundo usando essa tecnologia quântica já está planejada pelo BIPM antes de 2030. No entanto, a definição de tempo permanecerá inalterada. (MARTIN-DELGADO, 2020, n.p.)

Com isso, tem-se a definição do tempo com base em uma sistematização feita por meio de uma constante, a qual garante um pequeno nível de incerteza, o que só tende a se tornar cada vez menor, como mencionado.

8.3 A unidade do SI metro

O metro (m) é a unidade de comprimento estabelecida pelo SI. Ele já passou por várias definições, como a décima milionésima parte do meridiano de Paris, que já foi representada por uma barra de platina-irídio, em 1889, e, na 11ª CGPM, era caracterizado pelo comprimento de onda da radiação da transição do cripton 86, como descrito abaixo:

[a definição do metro] foi substituída na 11ª reunião da CGPM (1960), por uma definição baseada no comprimento de onda da radiação correspondente a uma transição particular do cripton 86, a fim de melhorar a exatidão da realização da definição do metro. Essa realização era efetuada por meio de um interferômetro e de

um microscópio móvel em translação utilizados para medir a variação de caminhos ópticos contando franjas. (BROCHURA SI PT, s.d., n.p.)

Já correspondeu à velocidade da luz no vácuo em um intervalo de 1/299.792.458 de segundo, vigente desde a 17ª CGPM, a qual já apontava para as seguintes alterações pelo qual o metro iria passar. Sendo assim, o metro passou a adotar a velocidade da luz para a sua definição, sendo a primeira grandeza do SI a ser baseada em uma constante fundamental, que consta na 26ª reunião da CGPM.

Portanto, sua mais nova determinação é, segundo o BIPM, que “o metro, símbolo m, é a unidade de comprimento do SI. É definido tomando o valor da velocidade numérica fixa da luz no vácuo, c , igual a 299.792.458 quando expresso em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, o segundo sendo definido em função de $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ ”.

A constante da velocidade da luz no vácuo “ c ” é o sustentáculo para definir o metro, com c contendo o m e o s^{-1} . Logo, esta definição torna a relação $c = 299.792.458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ exata, através da fixação de c . Quando invertemos a relação, o metro é expresso em combinação com duas constantes c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Pela definição, temos que:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1} \quad (4)$$

Isolando a unidade m, fica:

$$1 \text{ m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458} \right) \text{ s} \quad (5)$$

Substituindo a unidade “s” em função da constante “ $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ ”, vem:

$$1 \text{ m} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \quad (6)$$

Realizando as operações aritméticas tem-se:

$$1 \text{ m} \approx 30,663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \quad (7)$$

De acordo com a Figura 21, o metro tem conexão com as unidades de quatro constantes (c , h , k e K_{cd}).

Então, decorre desta equação que o metro é o comprimento do caminho percorrido pela luz no vácuo por uma duração de 1/299.792.458 de segundo (BIPM, 2019, n.p.).

8.4 A unidade do SI quilograma

O quilograma (kg) é a unidade de massa estabelecida pelo SI. Há 130 anos, na 1ª CGPM, o quilograma foi determinado por meio de um artefato material, o Protótipo

Internacional do Quilograma (IPK, sigla em inglês), também conhecido como Le Grand K, mostrado na **Figura 23**, um cilindro de 4 cm feito de uma liga especial de irídio e platina com massa de 1 litro de água destilada. O protótipo, localizado no BIPM, em Sèvres, na França, fica, subterraneamente, em um cofre e em três redomas, em que somente três pessoas diferentes, com chaves distintas, podem acessá-lo (RAMANI, 2022, n.p.).

De acordo com a definição do quilograma de 1889, a unidade de massa era simplesmente igual à massa do protótipo internacional do quilograma, um artefato feito de platina iridiado. Esse protótipo era conservado no BIPM, e ainda é, nas condições estabelecidas na primeira reunião da CGPM, em 1889. (BIPM, s.d., n.p.)

Figura 23: O protótipo internacional do quilograma, ou IPK



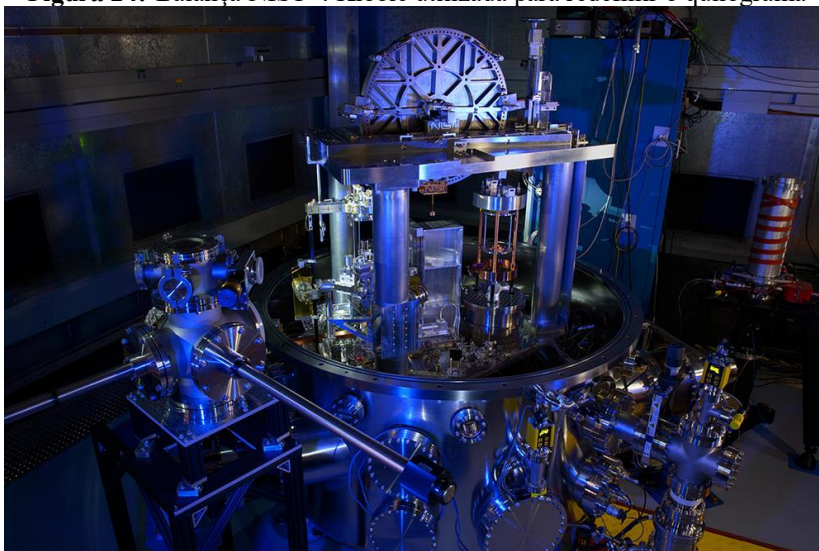
Fonte: Sociedade Brasileira de Metrologia - SBM, 2018

Era a única grandeza do SI que ainda tinha sua definição dessa forma, como previsto desde a 1ª CGPM. Foram distribuídas algumas cópias desse protótipo, para que os padrões fossem verificados e estabelecidos no mundo. Entretanto, não era viável, pois apresentava dois problemas: era um protótipo único, que não poderia ser produzido novamente e, com o decorrer do tempo, a massa sofre variações, imprevisivelmente. Isso foi observado em 1946, na segunda verificação de protótipos nacionais, em que a massa dos protótipos nacionais não estava de acordo com os internacionais, divergência que foi confirmada na terceira verificação de protótipos nacionais, no período de 1989 a 1991, com a diferença média correspondente a 25 microgramas (BIPM, s.d., n.p.).

A busca de novos critérios para definir o quilo começou na década de 1980, quando se constatou um problema com o cilindro metálico de Sèvres: o quilograma usado como referência mundial estava perdendo massa, possivelmente por sua manipulação na limpeza ou pela evaporação do material que o compõe. Medições realizadas de tempos em tempos no último século revelaram também que a massa das cópias do quilo distribuídas pelo mundo oscilava – algumas ganhavam e outras perdiam frações de 1 grama. Mesmo muito pequena, essa variação é indesejável para uma unidade de medida. É que, para servir como base de comparação, o padrão que define essa unidade deve ser quantificado com a maior precisão possível e permanecer inalterado ao longo do tempo. (BAGNATO, 2017, n.p.)

Na atual definição do quilograma, agora chamado de quilograma quântico, o valor da constante de Planck é fixo e o valor da massa é determinado experimentalmente, o que foi determinado na 26ª CGPM, por meio da balança de Kibble ou de watt, mostrada na **Figura 24**, diferente da antiga definição em que a constante era obtida experimentalmente e a massa não.

Figura 24: Balança NIST-4 Kibble utilizada para redefinir o quilograma



Fonte: SCHLAMMINGER, 2019

O quilograma pode ser conseguido através de qualquer equação da física que interligue a massa, a constante de Planck, a velocidade da luz e a frequência do césio. Uma das equações que podem trazer essa definição é a que determina o funcionamento da balança de Kibble, a qual é eletromecânica e é descrita pela equação $mgv = Ch$

Em que C é uma constante de calibração.

Uma balança de Kibble permite a medição de uma potência mecânica, medida em função de uma massa, m , a aceleração devido à gravidade, g , e uma velocidade, v , usando uma potência elétrica medida a partir de uma corrente elétrica e uma tensão medida utilizando os efeitos Hall quântico e Josephson, respectivamente. (BROCHURA BIPM, s.d., n.p.)

Por ser um equipamento fundamental para a nova definição do SI do quilograma, é importante compreender seu interessante funcionamento, o que será abordado a seguir:

O equilíbrio de Kibble-watt conecta a mecânica clássica à mecânica quântica. Entretanto, esse espaço é dividido em duas comunicações (conexões) separadas. Uma das grandezas mecânicas às grandezas elétricas e em seguida das grandezas elétricas aos efeitos da mecânica quântica (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 56).

Para medir a potência elétrica em watts, basta fazer o produto da tensão U pela corrente I . Com o auxílio de dois efeitos da mecânica quântica, efeito Josephson e o efeito

hall quântico, podemos medir a potência elétrica através do produto de duas frequências f_1 e f_2 , sendo h a constante de Planck e, r um número conhecido (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 56).

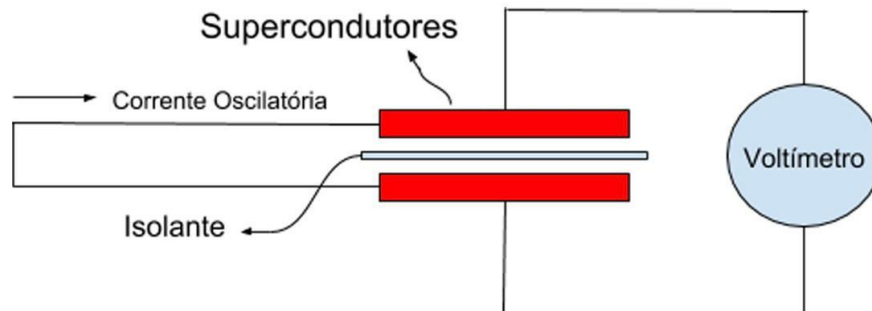
$$P = UI = rhf_1f_2 \quad (8)$$

Numa junção de túnel supercondutora composta por uma fina camada isolante em meio a duas camadas de um material supercondutor, ocorre o efeito Josephson. A partir da junção Josephson, ilustrada na **Figura 25**, a tensão elétrica é medida com mais rapidez e precisão (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 56).

A tensão por meio da camada de barreira é obtida pela multiplicação de $h.(2e)$ e a derivada temporal da diferença de fase nas funções de onda. Sendo a corrente obtida mediante a barreira, a qual equivale ao seno da diferença de fase (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 56).

$$U = n \frac{h}{2e} f \quad (9)$$

Figura 25: Medição da tensão através da junção Josephson, na qual aplica-se uma corrente constante e micro-ondas no material isolante.



Fonte: DAMACENO; et.al, 2019

A tensão depende da frequência (f) de corrente alternada (frequência de micro-ondas), da constante de Planck (h), da constante da carga elementar (e), do número de junções Josephson (n) usadas e o número da etapa em que cada junção está, isto é, a soma de cada número da etapa de cada junção no sistema (DAMACENO; et.al, 2019, n.p.).

Através do Efeito Hall Quântico mede-se a corrente por meio de uma resistência padrão (R_H), que é a razão entre a tensão (perpendicular à corrente) e o campo magnético à corrente (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57, n.p.).

$$R_H = p^{-1} \frac{h}{e^2} \quad (10)$$

Sendo p um número inteiro.

Em experimentos que envolvem equilíbrio de Kibble, usualmente se usam outras resistências. Em síntese os valores são apresentados da seguinte forma (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57).

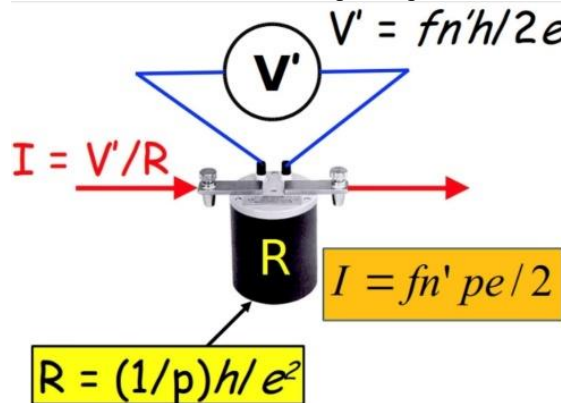
$$R = n' \frac{h}{e^2} \quad (11)$$

Onde n' é um número real que compreende a razão de resistência medida e o número p .

Por meio de uma bobina e utilizando os efeitos Hall quântico e Josephson, a corrente é medida, cujo esquema é mostrado na **Figura 26** (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57). Mediante um resistor de precisão a corrente é orientada e o seu valor é medido conforme a Eq. 11, esse resistor criará uma tensão (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57). Trabalhando com uma frequência de micro-ondas f_1 esta tensão pode ser medida em relação a um padrão de tensão programável Josephson (PJVS), como mostra a Eq. 9. Fazendo a combinação das duas equações tem-se (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57).

$$I = \frac{U}{R} = \frac{n_1 f_1 \frac{h}{2e}}{n' \frac{h}{e^2}} = \frac{n_1}{2n'} e f_1 \quad (12)$$

Figura 26: Efeito Hall Quântico e Josephson para medida de corrente



Fonte: DAMASCENO; et.al, 2019

A corrente depende somente do produto da carga elementar por uma frequência e dos fatores numéricos. Observa-se que a unidade da parte direita da equação é simplesmente a carga por segundo, que corresponde a ampere, a unidade de corrente elétrica (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57).

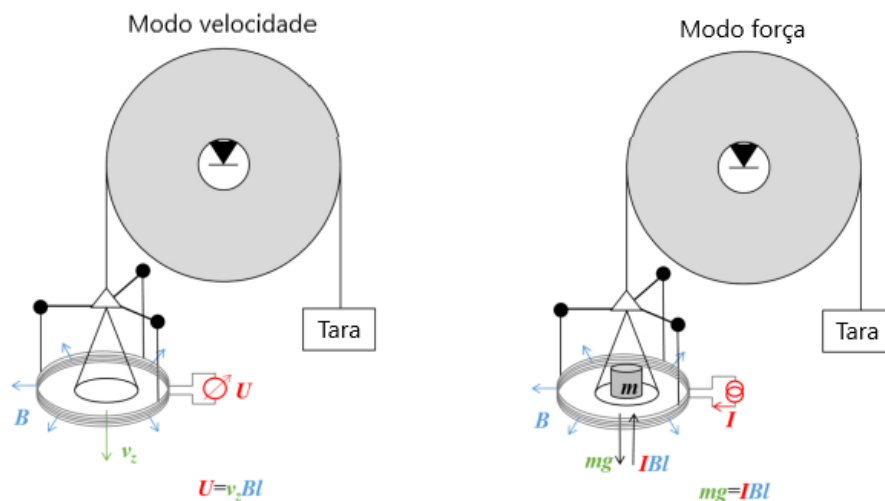
Combinando uma segunda medição de tensão Josephson com a medição de corrente, pode-se medir a energia elétrica (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57). Isso resulta

$$P = U.I = n_2 \frac{h}{2e} f_2 \frac{n_1}{2n'} e f_1 = r h f_1 f_2 \quad (13)$$

Tendo em r a combinação de todos os valores numéricos. O produto de duas frequências, um número conhecido e a constante de Planck resultam na potência elétrica. Tem-se na equação a carga elementar cancelada (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57).

A corrente e a tensão de acordo com os padrões quânticos podem ser medidas com incertezas de 10^{-9} . Devido a influência recíproca das duas medições deve-se ter atenção se ambas forem medidas ao mesmo tempo. O experimento do equilíbrio de Kibble é executado em dois procedimentos: o modo de velocidade em que a tensão é medida e o de força, em que a corrente é medida, como esquematizado na **Figura 27** (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57). Para a análise de dados o produto da corrente e da tensão é formado somente numericamente. Um poder virtual é mencionado. As variáveis tensão e corrente elétrica são de fato separadas da medição da potência virtual, que pode ser bem definida. A potência virtual em um sistema bem planejado, com experimentação bastante cautelosa pode ser medida em relação a algumas partes de 10^9 (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p. 57).

Figura 27: O princípio do equilíbrio de watts executado em dois modos (velocidade e força) usando uma polia

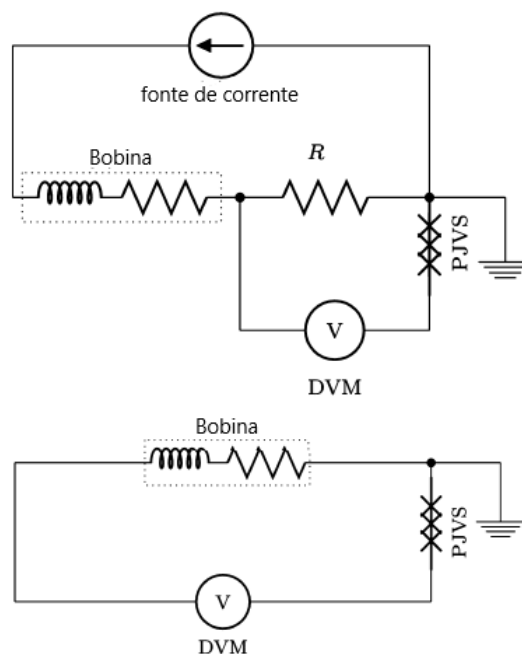


Fonte: D. Haddad, F. Seifert, L. S. Chao, et al, 2016

Uma fonte de corrente programável personalizada opera para gerar a corrente necessária, I , fluindo através da bobina para manter a posição do equilíbrio no modo de força. Uma fonte de corrente semelhante é usada no modo de velocidade. Ambas as fontes atuais são flutuantes, pois são alimentadas por bateria e se conectam ao computador de controle. Um sistema de tensão primária de 2,5 V baseado em uma matriz programável fabricada pelo NIST de junções Josephson e eletrônica desenvolvida é usada como Padrão de tensão Josephson (PJVS). No circuito um voltímetro digital (DVM) é usado para medir a pequena diferença

entre o padrão de tensão programável Josephson (PJVS) e a tensão no resistor (superior) ou a tensão induzida na bobina (inferior), como mostrado na **Figura 28** (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.58).

Figura 28: O diagrama de circuito do equilíbrio de Kibble no modo de força (superior) e modo de velocidade (inferior)



Fonte: SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019

No circuito um voltímetro digital (DVM) é usado para medir a pequena diferença entre o padrão de tensão programável Josephson (PJVS) e a tensão no resistor (superior) ou a tensão induzida na bobina (inferior) (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.58).

8.4.1 O princípio da balança de Kibble-watt

Um eletroímã, como mostrado na **Figura 29**, devido a sua propriedade de gerar campo magnético tem diversas aplicações, como por exemplo: nos motores, campainhas e nos guindastes eletromagnéticos que separam os componentes metálicos no lixo que podem ser reciclados. A força de atração exercida pelo eletroímã está diretamente ligada à quantidade de corrente que passa pelas suas bobinas (MACIEL, s.d., n.p.).

Figura 29: Guindaste eletromagnético

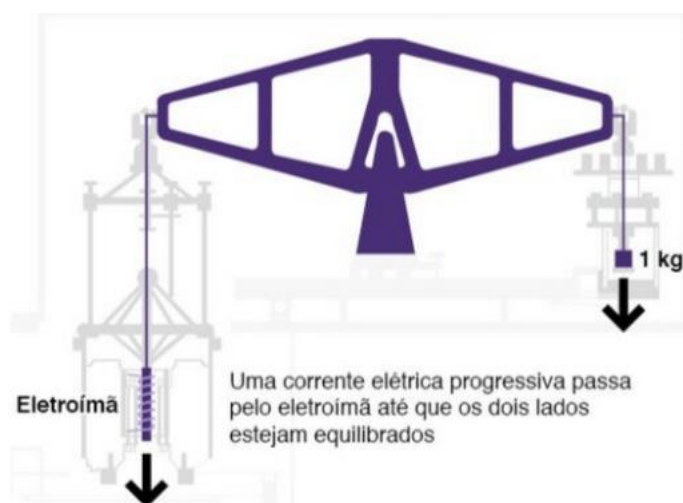


Fonte: HVR MAG, 2022

Para se definir um quilograma, ou qualquer outra unidade de peso em função da quantidade de eletricidade, basta neutralizar essa força. A constante de Planck relaciona peso à corrente elétrica, sendo por isso fundamental na definição do quilograma (MACIEL, s.d., n.p.).

A balança de Kibble tem um eletroímã que tenciona para baixo de um lado e um peso do outro. Para equilibrar os dois lados da balança basta aumentar a corrente elétrica que passa pelo eletroímã, como esquematizado na **Figura 30** (MACIEL, s.d., n.p.).

Figura 30: Princípio básico da balança utilizada para definir o quilograma



Fonte: MACIEL, s.d.

Ao explicarmos como a Balança de Kibble funciona, estaremos, ao mesmo tempo, demonstrando como é a conexão do quilograma com a constante de Planck. Esta conexão estabelecida entre a energia elétrica e a mecânica é facilitada através da balança que serve para comparar uma força eletromagnética produzida por uma bobina em um campo magnético com o peso de uma massa de teste (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.58). A medição

efetuada por ela é realizada em duas etapas: uma etapa de pesagem estática, seguida por uma etapa de movimento dinâmico.

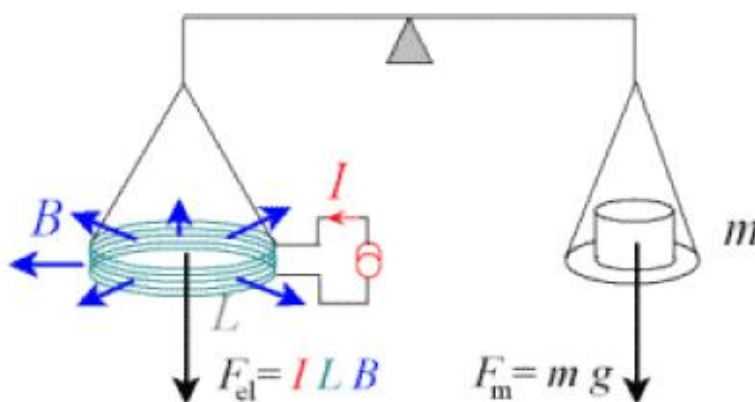
8.4.2 Etapa de pesagem estática

Nesta etapa, uma massa de ensaio é erguida em um dos braços da balança, ao mesmo tempo em que uma bobina mergulhada num campo magnético horizontal é erguida no outro braço, como esquematizado pela **Figura 31**. No momento em que uma corrente I alimenta a bobina, a interação por meio da corrente elétrica e do campo magnético gera uma força eletromagnética vertical (MACIEL, s.d., n.p.).

$$F_z = m \cdot g = -IN \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (14)$$

Onde m é a massa de ensaio, g a aceleração gravitacional local, I a corrente na bobina com N espiras e o fluxo magnético através da área da bobina (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.58).

Figura 31: Etapa de pesagem estática



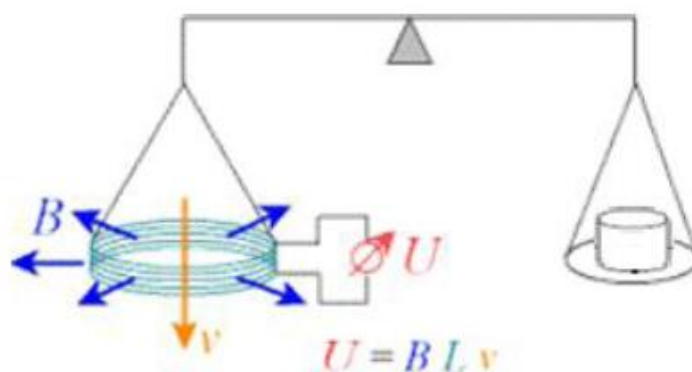
Fonte: MACIEL, s.d.

8.4.3 Etapa de pesagem dinâmica

Nesta segunda etapa, esquematizada na **Figura 32**, a massa de teste é retirada, sendo a bobina movida com uma velocidade vertical constante, por meio do campo magnético horizontal, induzindo uma tensão elétrica que pode ser medida na bobina (MACIEL, s.d., n.p.). Isso produz

$$U = -N \frac{\partial \Phi}{\partial t} = -N \frac{\partial \Phi}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \quad (15)$$

Figura 32: Etapa de pesagem dinâmica



Fonte: MACIEL, s.d.

A derivada parcial $\partial z/\partial t$ é a velocidade vertical da bobina V_z , que é a mesma da velocidade do prato de massa no momento em que estão rigorosamente ligadas (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.58). Dividindo a equação 14 pela equação 15, temos

$$\frac{mg}{U} = \frac{I}{v_z} \rightarrow mgv_z = UI \quad (16)$$

Essa equação é chamada de equação de Kibble ou equação de watt, uma vez que as quantidades em ambos os lados da equação são medidas em unidades de watt. O produto mgv_z é a energia mecânica e o produto UI é a energia elétrica (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.58). No equilíbrio de Kibble, o conceito de potência virtual é fundamental, pois como no caso da tensão e da corrente, a força (mg) e a velocidade v_z também não são medidas ao mesmo tempo, porém em dois modos distintos, chamados de modo força e modo velocidade. Como efeito disso, o atrito não interessa no modo de velocidade e o movimento não interessa no modo de força (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.58).

As conexões elétricas devem ser mudadas entre os dois modos para se medir as correntes. Temos na Figura 28 o modelo para dois circuitos que podem ser usados no modo força e velocidade, na devida ordem da parte superior e inferior da figura (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.58).

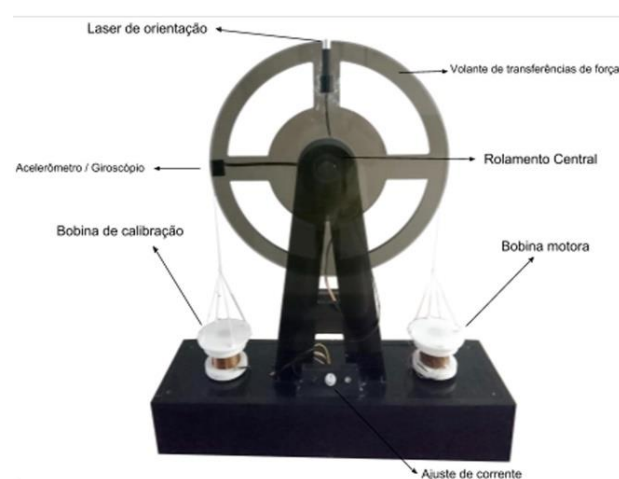
Combinando a equação de Kibble com a equação 13 se estabelece a conexão de massa e a constante de Planck (SCHLAMMINGER; HADDAD, 2019, p.59).

$$mgv_z = r f_1 f_2 \rightarrow m = \frac{r f_1 f_2}{v_z g} h \quad (17)$$

Através da balança de watt construída para fins didáticos, mostrada na **Figura 33**, podemos demonstrar todo o princípio de equilíbrio entre a força peso e a força

eletromagnética, como também a conexão entre o quilograma e a constante de Planck. A obtenção do kg por meio da balança possibilita um resultado de medição com precisão de cerca de 10^{-8} , bem melhor do que qualquer confecção de artefatos (DAMACENO; et.al, 2019, n.p.).

Figura 33: Balança de watt construída para fins didáticos



Fonte: SBM e SBF, 2019

Dessa forma, a mais nova definição adotada, de acordo com o BIPM (s.d., n.p.), utilizando-se a relação estabelecida pela balança de Kibble, é:

O quilograma, símbolo kg, é a unidade de massa do SI. É definido tomando o valor numérico fixo da constante de Planck, h , igual a $6,62607015 \times 10^{-34}$ quando expresso em J.s, unidade igual a $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-1}$, o metro e o segundo sendo definidos em função de c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

A constante de Planck h é a chave para redefinir o quilograma, com h contendo o m^2 e o s^{-1} . Portanto, esta definição torna a relação $h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-1}$ exata, através da fixação de h . Quando invertemos a relação, temos o quilograma expresso em combinação das três constantes h , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ e c :

Pela definição, temos que:

$$h = 6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2\text{s}^{-1} \quad (18)$$

Isolando a unidade kg, fica:

$$1 \text{ k} = \left(\frac{h}{6,6260\ 7015 \times 10^{-34}} \right) \text{m}^{-2}\text{s} \quad (19)$$

Substituindo as unidades “m” e “s” em função das constantes c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, vem:

$$1 \text{ k} = \frac{(299\ 792\ 458)^2}{(6,62607015 \times 10^{-34})(9192631770)} \frac{h\Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \quad (20)$$

Realizando as operações aritméticas tem-se:

$$1 \text{ kg} \approx 1,475\,5214 \times 10^{40} \frac{h\Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \quad (21)$$

Observe que na Figura 21 o quilograma tem conexão com as unidades de três constantes (h , k e K_{cd}).

Então essa relação permite definir a unidade $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$. Portanto, associado às definições do segundo e metro, a unidade de massa é expressa em função da constante h de Planck.

Entende-se, dessa forma, que o valor de h , definido em uma escala subatômica, é imprescindível para a compreensão e observação do mundo microscópico físico, assim como para parte dos sistemas de unidades atômicas, além das constantes.

A relação entre a constante de Planck e a massa de um quilograma, equivalente à 1 litro de água pura (destilada), vem de experimentos propostos no final dos anos 1950 para medir de forma mais precisa o ampere. Para a realização desses experimentos é utilizada a balança de watt.

Depois de décadas de estudos e debates, físicos e metrologistas finalmente conseguiram aprovar a nova definição universal do quilograma, durante a 26ª CGPM, realizada em Versalhes, na França, no dia 20 de maio de 2019. A unidade de massa do SI não seria mais a do IPK, mas sim um valor derivado de uma constante da natureza, a constante de Planck.

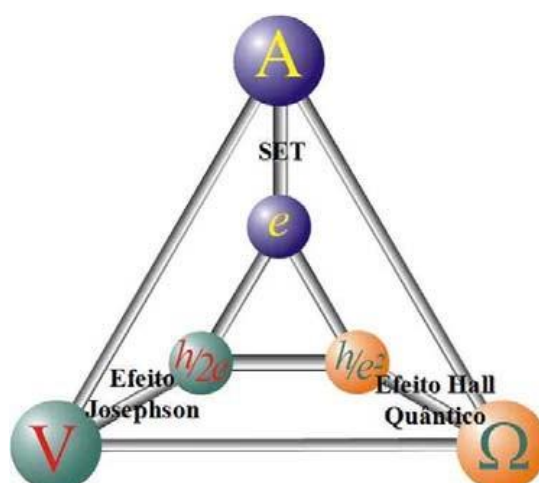
8.5 A unidade do SI ampere

O ampere (A) é a unidade de corrente elétrica estabelecida pelo SI. No Congresso Internacional de Eletricidade realizado em Chicago, em 1893, já eram principiadas as ideias de “internacionalizar” medidas de corrente e de resistência. Já em 1908, na Conferência Internacional de Londres, “[...] as definições do ‘ampere internacional’ e do ‘ohm internacional’ foram confirmadas” (BROCHURA BIPM PT, s.d., n.p.). Com conformidade de todos os membros, havia o desejo de mudança das unidades internacionais para unidades absolutas, na 8ª CGPM. Entretanto, ainda não tinham dados completos laboratoriais que relacionassem as unidades internacionais e absolutas, assim, a CGPM deu o poder ao CIPM de decidir o que seria feito. Então, para 1 de janeiro de 1948, foi decidida a data em que as alterações seriam feitas, em 1946, as quais, mais tarde, seriam aprovadas pela 9ª reunião da CGPM.

Desde a 9ª CGPM, em 1948, o ampere foi definido com base no eletromagnetismo. Entretanto, os instrumentos para o estabelecer não eram precisos o suficiente. Além disso, para a sua determinação dependia de três grandezas: metro, segundo e quilograma e utilizavam a Lei de Ohm, Efeito Josephson e Hall Quântico. É uma unidade que passou por diversos problemas para sua definição, porque a aplicação acabava sendo diferente do que dizia a teoria.

Sendo assim, é redefinido com base no Triângulo Metrológico Quântico, mostrado na **Figura 34**, sendo descrito como, de acordo com o BIPM, através da 26ª CGPM: “O ampere, símbolo A, é a unidade de corrente elétrica do SI. É definido tomando o valor numérico fixo da carga elementar, e , igual a $1,602176634 \times 10^{-19}$ quando é expresso em C, unidade igual a A.s, sendo o segundo definido de acordo com $\Delta\nu_{Cs}$ ” (BIPM, 2019).

Figura 34: Triângulo Metrológico Quântico



Fonte: FERNANDES; CARVALHO; SCHECHTER, s.d.

A constante da carga elementar “ e ” é o alicerce para redefinir o ampere com e contendo A e s. Por isso, esta definição torna a relação $e = 1,602176634 \times 10^{-19}$ A.s exata, através da fixação de e . Quando invertemos a relação, o ampere é expresso em combinação com duas das constantes, e e $\Delta\nu_{Cs}$.

Pela definição, temos que:

$$e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19} \text{ A.s} \quad (22)$$

Isolando a unidade A, fica:

$$1 \text{ A} = \left(\frac{e}{1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}} \right) \text{s}^{-1} \quad (23)$$

Substituindo a unidade “s” em função da constante $\Delta\nu_{Cs}$, vem:

$$1 = \frac{1}{(9\,192\,631\,770)(1,602\,176\,634 \times 10^{-19})} \Delta\nu_{C_s} e \quad (24)$$

Realizando as operações aritméticas tem-se:

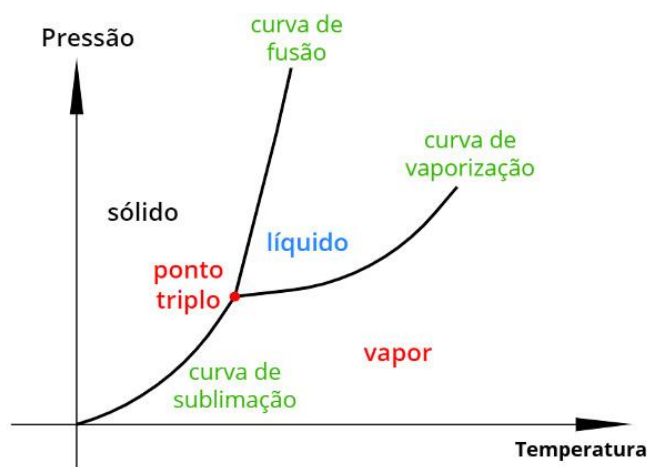
$$1 \text{ A} \approx 6,789\,6868 \times 10^8 \Delta\nu_{C_s} e \quad (25)$$

Conforme mostra a Figura 21, conclui-se que nenhuma outra unidade base do SI depende, para sua definição, da unidade ampère e, conseqüentemente, da sua constante definidora “*e*”. Então, decorre desta relação que um ampere é a corrente elétrica correspondente ao fluxo de $1/(1,602176634 \times 10^{-19})$ de cargas elementares por segundo (BIPM, 2019).

8.6 A unidade do SI kelvin

O kelvin (K) é a unidade de temperatura termodinâmica estabelecida pelo SI. Na 10ª CGPM, em 1954, o kelvin era definido a partir do ponto triplo da água, que é o ponto onde as fases sólida, líquida e gasosa se encontram em equilíbrio simultaneamente. Esse ponto é marcado em um diagrama de fase exatamente na junção das três regiões, como mostrado na **Figura 35**. A definição de 1954 determina a temperatura desse ponto triplo como sendo exatamente 273,16 K (0°C). Entretanto, é difícil ter uma tecnologia que chegue a essa exatidão, exigindo uma enorme precisão para colocá-la em prática. Já a 13ª CGPM determinou que não seria mais usada a denominação “grau kelvin”, com símbolo °K, mas sim “kelvin”, com símbolo K.

Figura 35: Gráfico indicando o ponto triplo da água



Fonte: Mundo Educação – Uol, 2020

Assim, para facilitar essa determinação, na 26ª CGPM, o kelvin foi redefinido para ter base na Constante de Boltzmann, relacionando temperatura e energia. O BIPM (s.d., n.p.) então o redefina como:

O Kelvin, símbolo K, é a unidade termodinâmica de temperatura do SI. Está definido tomando o valor numérico fixo da constante de Boltzmann, k , igual a $1,380649 \times 10^{-23}$ quando expresso em $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$, unidade igual a $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, o quilograma, o metro e o segundo sendo definidos em função de h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

A constante de Boltzmann “ k ” é o pilar para redefinir o kelvin, com k contendo kg , m , s^{-2} e K^{-1} . Por conseguinte, esta definição torna a relação $k = 1,380649 \times 10^{-23} \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ exata, através da fixação de k . Quando invertemos a relação, o kelvin é expresso com a combinação das três constantes k , h e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Pela definição, temos que:

$$k = 1,380\ 649 \times 10^{-23} \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\text{K}^{-1} \quad (26)$$

Isolando a unidade K, fica:

$$1 \text{ K} = \left(\frac{1,380\ 694 \times 10^{-23}}{k} \right) \text{ kg}\cdot\text{m}^2\text{s}^{-2} \quad (27)$$

Substituindo as unidades kg , m e s em função das constantes h , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ e c , vem:

$$1 \text{ K} = \left(\frac{1,380\ 694 \times 10^{-23}}{(6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}) (9\ 192\ 631\ 770)} \right) \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k} \quad (28)$$

Realizando as operações aritméticas tem-se:

$$1 \text{ K} \approx 2,266\ 6653 \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k} \quad (29)$$

Segundo a Figura 21, conclui-se que nenhuma outra unidade base do SI depende, para sua definição, da unidade kelvin e, conseqüentemente, da sua constante definidora “ k ”.

Então, decorre desta relação que um Kelvin é igual à mudança de temperatura termodinâmica resultante de uma mudança na energia térmica kT de $1,380649 \times 10^{-23} \text{ J}$ (BIPM, 2019).

8.7 A unidade do SI candela

A candela (cd) é a unidade de intensidade luminosa estabelecida pelo SI. Uma das primeiras definições da candela foi baseada na luminância do corpo negro, o que foi decidido em 1946, substituindo sua base em filamento incandescente ou em padrões de chama, como descrito abaixo, segundo a brochura do BIPM (s.d., n.p.):

As unidades de intensidade luminosa baseadas em padrões de chama ou de filamento incandescente, que estavam em uso em vários países antes de 1948, foram as primeiras substituídas pela "nova vela" baseada na luminância do radiador de Planck (corpo negro) na temperatura de congelamento da platina. Esta modificação tinha sido preparada antes de 1937 pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e pelo CIPM; a decisão foi tomada pelo CIPM em 1946. (BROCHURA BIPM PT)

O nome da unidade internacional de intensidade luminosa, como conhecemos hoje em dia, foi autenticado em 1948, na 9ª CGPM, assim como seu símbolo. Na reunião seguinte, em 1954, foi determinada como unidade de base e, já em 1967, a 13ª modificou o que estabelecido em 1946. Porém, tendo em vista as dificuldades experimentais, já que o radiador de Planck necessitava de grandes temperaturas, e às novas tecnologias disponíveis pela radiometria, a 16ª CGPM alterou a definição da candela.

A unidade já foi definida a partir da intensidade luminosa produzida por uma vela, como a mostrada na **Figura 36** (CESAR, 2018), e sua definição atual não é tão diferente da antiga, tendo como alteração somente a confirmação de que a candela é definida em função da constante de radiação monocromática (CESAR, 2018)

Figura 36: 1 vela produz, aproximadamente, 1 candela



Fonte: CESAR, 2018

A redefinição mais atual da candela é a seguinte, segundo o BIPM, como estabelecido pela 26ª CGPM:

A candela, símbolo cd, é a unidade do SI de intensidade de luz em uma dada direção. É definida tomando o valor numérico fixo da eficiência luminosa da radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, K_{cd} , igual a 683 quando expresso em $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, unidade igual a $\text{cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{W}^{-1}$, ou $\text{cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^3$, o quilograma, o metro e o segundo sendo definidos em função de h , c e $\Delta\nu_{Cs}$.

Com novos meios para a medição da potência da radiação óptica, além dos empecilhos para realização de experimentos referentes ao radiador de Planck, em 1979, na 16ª CGPM, foi adotada uma nova definição para a candela (BIPM, 2019). Já hoje, tem-se a candela definida da seguinte maneira: “a definição atual de candela, baseada num valor

numérico fixado de eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, K_{cd} , foi adotada na 26ª reunião da CGPM (2018), Resolução 1” (BROCHURA SI EM PT, s.d., n.p.).

A constante de eficácia luminosa “ K_{cd} ” é o pedestal para definição da candela, contendo cd, sr, kg^{-1} , m^{-2} e s^{-3} , (onde sr é a unidade de medida padrão no SI para quantificar ângulos sólidos. Equivale ao ângulo sólido formado por um cone tal que a área da esfera de raio unitário, cujo centro fica no ápice deste cone, tenha o valor de um metro quadrado). Por conseguinte, esta definição torna a relação $K_{cd} = 683 \text{ cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^3$ exata, através da fixação de K_{cd} , para radiação monocromática de frequência $\nu = 540 \times 10^{12}$ Hz. Quando invertemos a relação, a candela é expressa em combinação das três constantes K_{cd} , h e $\Delta\nu_{Cs}$.

Pela definição, temos que:

$$K_{cd} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3 \quad (30)$$

Isolando a unidade “cd”, fica:

$$1 \text{ cd} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{sr}^{-1} \quad (31)$$

Substituindo as unidades “kg”, “m”, “s” e “sr” em função das constantes “ h ”, “ c ” e “ $\Delta\nu_{Cs}$ ”, vem:

$$1 \text{ cd} = \frac{1}{(6,62607015 \cdot 10^{-34})(9192631770)^2 683} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd} \quad (32)$$

Realizando as operações aritméticas, tem-se:

$$1 \text{ cd} \approx 2,614 8305 \times 10^{10} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd} \quad (33)$$

Em conformidade com a Figura 21, conclui-se que nenhuma outra unidade base do SI depende, para sua definição, da unidade candela e, conseqüentemente, da sua constante definidora “ K_{cd} ”.

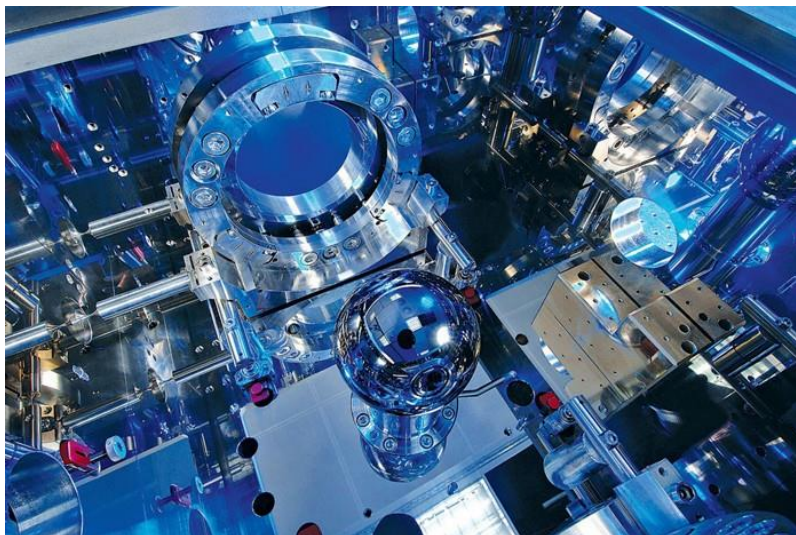
Então, decorre desta relação que a candela é a intensidade luminosa, em uma dada direção, de uma fonte que emite radiação monocromática de frequência e cuja intensidade de energia nesta direção é $(1/683) \text{ W sr}^{-1}$ (BIPM, 2019).

8.8 A unidade do SI mol

O mol (mol) é a unidade de quantidade de substância estabelecida pelo SI. Era definido pela quantidade de átomos em 12 gramas de carbono 12, entretanto, era dependente da definição do quilograma.

A sua redefinição mais atual está em função da constante de Avogadro, calculada por meio do Projeto Avogadro, que tem o objetivo de quantificar a constante de maneira mais precisa possível, com incerteza de, no máximo, 20×10^{-9} . Esse cálculo foi feito através de uma esfera de silício 28, com 9,995% de pureza, mostrada na **Figura 37**.

Figura 37: Esfera de silício 28



Fonte: HOWES, 2018

Portanto, no novo SI, segundo o BIPM (s.d., n.p.), a partir da 26ª reunião da CGPM, a redefinição do mol é:

O mol, símbolo mol, é a unidade de quantidade de matéria SI. Um mol contém exatamente $6,02214076 \times 10^{23}$ entidades elementares. Este número, chamado "Número de Avogadro", corresponde ao valor numérico fixo da constante de Avogadro, N_A , quando expresso em mol^{-1} .

A constante de Avogadro " N_A " é a base para redefinir a quantidade de matéria. Assim sendo, esta definição torna a relação $N_A = 6,02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ exata, através da fixação de N_A . Quando invertemos a relação, obtemos a expressão exata do mol de acordo com a constante N_A :

Pela definição, temos que:

$$N_A = 6,022\ 140\ 76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad (34)$$

Isolando a unidade "mol", fica:

$$1 \text{ mol} = \left(\frac{6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}}{N_A} \right) \quad (35)$$

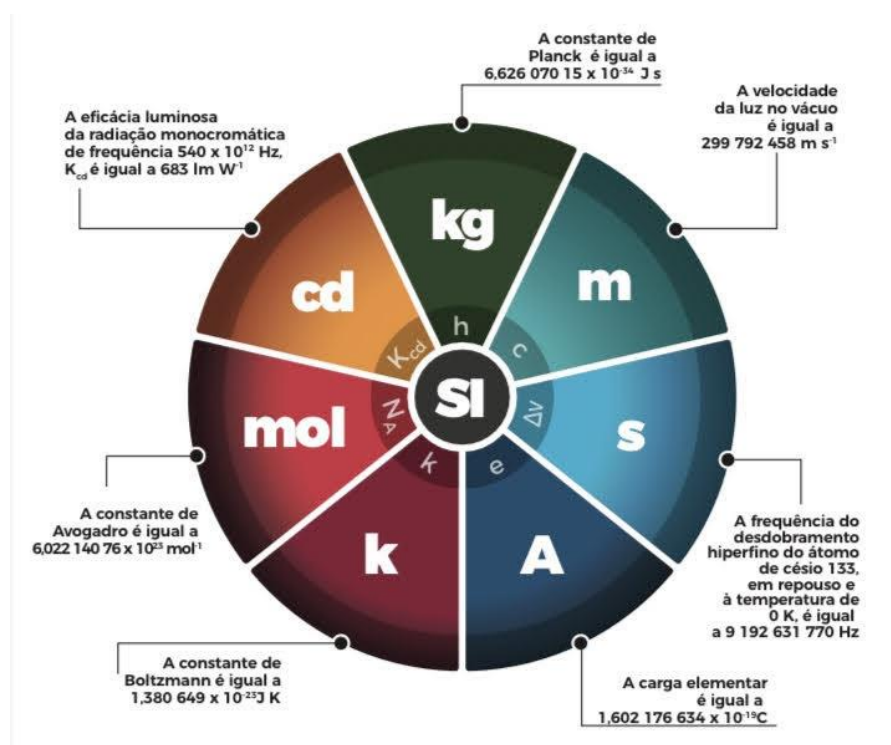
Consoante com a Figura 21, conclui-se que nenhuma outra unidade base do SI depende, para sua definição, da unidade mol e, conseqüentemente, da sua constante definidora " N_A ". Então, decorre desta relação que o mol é a quantidade de matéria em um sistema que contém $6,02214076 \times 10^{23}$ entidades elementares (BIPM, 2019).

As sete constantes utilizadas pelo SI, mostradas na **Figura 38**, foram escolhidas de modo que definissem as unidades, expressas a partir de uma dessas constantes, de maneira direta ou, até mesmo, relacionando-as por produtos ou proporções.

Desta forma, o novo SI se torna um sistema de unidades baseado em valores numéricos exatos de sete constantes definidoras pelo qual:

- A frequência de transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio não perturbado 133, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, é igual a 9.192.631.770 Hz;
- A velocidade da luz no vácuo, c , é igual a 299.792.458 m/s;
- A constante de Planck, h , é igual a $6,62607015 \times 10^{-34}$ J s;
- A carga elementar, e , é igual a $1,602176634 \times 10^{-19}$ C;
- A constante de Boltzmann, k , é igual a $1,380649 \times 10^{-23}$ J/K;
- A constante de Avogadro, N_{A} , é igual a $6,02214076 \times 10^{23}$ mol⁻¹;
- A eficiência luminosa da radiação de frequência monocromática 540×10^{12} Hz, K_{cd} , é igual a 683 lm/W.

Figura 38: A redefinição do SI em termos de constantes físicas



Fonte: SBM - SBF, 2019

8.9 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI

As unidades, que são ligadas às grandezas, podem ser reescritas em função de prefixos, os quais possuem nome, símbolo, potência de base 10 e equivalente decimal. Os prefixos foram sendo definidos no decorrer dos anos, a partir das reuniões da CGPM (ver Quadro 1). Os prefixos são, de acordo com o **Quadro 5**.

Quadro 5: Prefixos do SI

PREFIXO	SÍMBOLO	POTÊNCIA DE 10
quetta	Q	10^{30}
ronna	R	10^{27}
yotta	Y	10^{24}
zetta	Z	10^{21}
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
quilo	k	10^3
hecto	h	10^2
deca	da	10^1
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}
ronto	r	10^{-27}
quecto	q	10^{-30}

Fonte: BIPM (adaptado pelo autor)

9 A FÍSICA COMO CIÊNCIA DE PRECISÃO

A Física desenvolve um papel imprescindível para a Ciência, pois se dedica ao estudo do Universo e de suas propriedades, utilizando-se além de teorias e de leis, da linguagem matemática para a representação dos fenômenos (PRASS, s.d., n.p.). Diante do que foi mostrado antes, pode-se concluir que a Física possui uma grande importância, já que se aplica em diversos contextos e é de grande importância para resolver problemas macroscópicos e microscópicos, em vários âmbitos, já que circula na sociedade e possui uma responsabilidade para com ela, fazendo parte de sua construção. Não se deve esquecer que a Física ocupa-se ao estudo da Natureza, assim, busca-se a relação entre aquilo que a permeia, além de todo seu funcionamento.

A Física é uma ciência cujo objeto de estudo é a Natureza. Assim, ocupa-se das ações fundamentais entre os constituintes elementares da matéria, ou seja, entre os átomos e seus componentes. Particularmente na Mecânica, estuda-se o movimento e suas possíveis causas e origens. Ao estudar um dado fenômeno físico procura-se entender como certas propriedades ou grandezas associadas aos corpos participam desse fenômeno. (MEDIDAS FÍSICAS E OS APARELHOS DE MEDIDA, s.d., n.p.)

Assim, a medição é muito importante para se realizar Ciência, já que confere dados que concretizam resultados sobre o objeto de estudo, podendo buscar mais informações sobre ele. Portanto, a Física enquadra-se como uma Ciência de precisão, estabelecendo uma relação direta com a Metrologia, como observado por Zhan e Xie (2020, n.p.):

Sem medição, não haveria ciência. A ciência moderna é estabelecida e desenvolvida no processo do ciclo hipótese-teste-modelo-teoria. Física e medição são inseparáveis. A medição de precisão refere-se ao uso de tecnologia e métodos avançados para buscar alta precisão sob a estrutura física existente. A física de medição de precisão é testar o alcance da física existente com maior precisão e tentar descobrir o limite do quadro para descobrir uma nova física. Em outras palavras, a física de medição de precisão é a física que importa a precisão. É bem conhecido que uma melhoria da precisão de medição em física por uma ordem de grandeza muitas vezes leva a novas descobertas físicas. As primeiras observações da série de linhas atômicas separadas deram origem à mecânica.

A partir de estudos, são desenvolvidas cada vez mais tecnologias e um caminho primordial para se obter esses resultados é adotando medidas mais precisas, por meio de métodos, equipamentos e estudos que consigam alcançar a menor escala de incerteza possível.

Medir fisicamente algo quer dizer colher o valor da unidade em questão, determinando o tamanho da quantidade física. Esta, por conseguinte, é ligada pelas constantes físicas, passando, então, a ser uma lei física, o que “é a relação entre quantidades físicas associadas a constantes físicas fundamentais” (ZHAN; XIE, 2020, n.p.), além de ser o

objetivo da Física de medição. Nesse sentido, as unidades dão base para essa finalidade. Com isso, o SI permite a “comparação de metrologia e medição física” (ZHAN; XIE, 2020, n.p.).

Portanto:

A medição física consiste em obter o valor na unidade acordada para determinar o tamanho da quantidade física. Quantidades físicas são conectadas por constantes físicas para se tornarem leis físicas. Portanto, a definição da unidade, a precisão do valor medido, o valor da constante física e se a relação de conexão se mantém tornam-se a chave para testar a lei da física e o conteúdo central do estudo de física de medição de precisão.

A unidade é a base da medição física e o sistema internacional de unidades (SI) é a base da comparação de metrologia e medição física. (ZHAN; XIE, 2020, n.p.)

O percurso para que se chegasse a uma precisão ou para que se compreendesse seu sentido foi árduo e, apesar de ainda ser uma busca do presente (e, com certeza, do futuro), data de muito tempo atrás. O documentário “Precisão: A Medida de Todas as Coisas”, de 2013, em seu primeiro episódio apresenta as primeiras compreensões de medida surgidas e que são ainda da pré-história. Isso marca não só a necessidade de medir e organizar o mundo, mas o início da jornada da precisão.

Até se chegar ao que chamamos de “SI”, várias foram as situações que mostraram o quão essencial seria a existência de sua criação, visando a ordem, a segurança, o bem-estar, a economia, bem como a própria cultura (Precisão: A Medida de Todas as Coisas).

Dessa forma, o Sistema Internacional de Unidades vem aperfeiçoando a forma de se definir suas grandezas no decorrer dos anos, nas reuniões da CGPM, substituindo artefatos, como parâmetro, às constantes físicas (as quais também vêm evoluindo com o tempo). Essas medições mais exatas possíveis possibilitam uma maior compreensão e exploração do universo.

Hoje há uma forte interação entre a mecânica quântica e a atual definição do SI, que tem um grande uso na Física Moderna. Isso se deve, porque os limites estabelecidos por essas medições garantem um melhor desempenho dos estudos realizados, chegando à seguinte conclusão: “ao contrário da física clássica, a mecânica quântica fornece uma visão dos limites fundamentais da precisão de medição alcançável que não podem ser batidas, independentemente da extensão de quaisquer melhorias futuras na tecnologia de medição” (Verdadeiros limites de precisão na metrologia quântica).

Sendo assim, a Metrologia é de suma importância para a manutenção das atividades cotidianas e de seus resultados, sendo uma Ciência muito ampla. Assim, é definida:

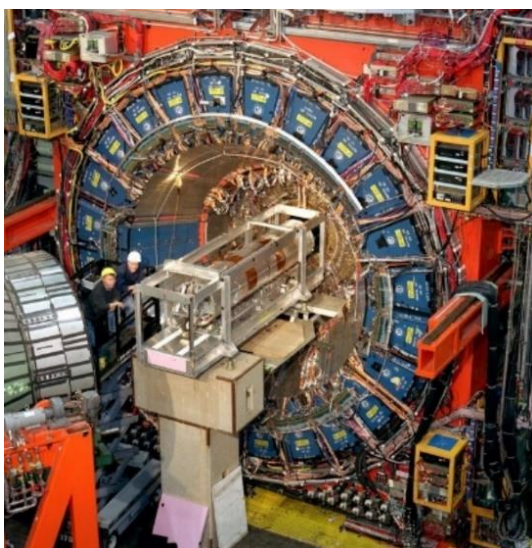
A metrologia é definida como a ciência da medição e, se interpretada de forma ampla, abrangeria a maior parte da física experimental. O termo é geralmente usado em um sentido mais restrito para significar a parte da ciência da medição usada para fornecer, manter e disseminar um conjunto consistente de unidades ou fornecer

suporte para a aplicação da equidade no comércio por pesos e leis de medição, ou para fornecer dados para controle de qualidade na fabricação. (SIMPSON, 1981, p.281, n.p.)

É importante ver a evolução das unidades de medida e como elas influenciaram na tecnologia e no dia a dia, se tornando cada vez mais precisas. O longa-metragem “Precisão: A Medida de Todas as Coisas” (2013) cita que “cada salto na medição leva novos avanços tecnológicos e científicos. A medição moldou a nossa história e continuará a mudar o mundo”. Sendo assim, percebendo os eventos históricos e seus efeitos, notamos que vários deles têm alguma relação com a precisão. Tais consequências da medição encontram-se submersas em “um efeito novo ou desconhecido a ser explorado, conseqüentemente até mesmo uma nova lei física a ser estabelecida” (YIE; LI; LUO, 2009, n.p.) pois implica em novos estudos e conhecimentos. Destacando-se, sobretudo a Física, a qual é apoiada pela Metrologia para novas descobertas e experiências.

Assim, são vistas consequências da precisão na Ciência. Recentemente, uma pesquisa realizada por uma equipe internacional de 400 cientistas do Fermilab Collider Detector (CDF), no Estado americano de Illinois, depois de quase uma década de análise de dados, identificou, através de uma medição de alta precisão, que a massa da partícula conhecida como bóson W tem mais massa do que o previsto pelo modelo padrão da física das partículas. De acordo com os dados coletados pelo colisor de partículas no Fermilab mostrado na **Figura 39**, a massa da partícula foi determinada com uma precisão de 0,01%, o dobro de precisão da medida realizada anteriormente, o que é equivalente a medir seu peso corporal com uma incerteza menor que 10 gramas, e é aproximadamente 80 vezes a massa do próton (GHOSH, 2022, n.p.).

Figura 39: Detector de colisões do Fermilab



Fonte: Revista Galileu, 2022

A nova medida da massa do bóson W contesta previsões físicas e a descoberta pode desencadear a maior revolução na física desde as teorias de Einstein (GHOSH, 2022).

Nesse mesmo contexto, sem as medições da matemática Katherine Johnson (1918-2020), não seria possível a realização de feitos como a primeira expedição espacial até a Lua:

Johnson foi responsável por calcular o momento em que o módulo lunar Eagle, do qual desceriam os astronautas, deveria abandonar o satélite para que sua trajetória coincidissem com a órbita descrita pelo Columbia e pudesse, assim, acoplar-se a ele para retornar à Terra. (IRAOLA, 2018, n.p.)

Outro exemplo das alterações ocorridas através da medição é a Revolução Industrial. Esse período trouxe uma grande mudança na sociedade: O tempo começou a ganhar um grande destaque. As pessoas começaram a se preocupar, de maneira constante, com ele, porque não só marcava a passagem do tempo cronológico, mas também a produtividade e o lucro, pois controla o tempo de trabalho, o que é produzido pelo operário e, conseqüentemente, o que é consumido, gerando ainda mais ganho entre os industriais, ou seja, a partir desse momento formou-se a ideia de que “tempo é dinheiro”.

Por que, então, tempo e dinheiro seriam equivalentes? Com as mudanças ocorridas após a Revolução Industrial, o dinheiro ganhou uma dimensão universal, pois ele é capaz de transformar qualquer quantidade em toda qualidade. O dinheiro torna-se, dessa maneira, a unidade que mede todas as coisas, assim como o relógio pelo qual medimos nossa vida e nossas ações de acordo com o tempo disponível. (MOTA; MACIEL, 2021, p.244)

A compreensão das unidades de medida passou também a representar um domínio sobre aspectos como em não ser manipulado. No livro “1984”, de George Orwell (1903-1950), o tempo é controlado pelo "Grande Irmão", líder do governo totalitário, de tal forma que nenhum cidadão sabe exatamente em qual ano está.

Além disso, um grande exemplo da interferência da precisão foi a grande odisseia de 7 dias, descrita no livro “A Medida de Todas as Coisas: a Odisseia de Sete Anos e o Erro Encoberto que Transformaram o Mundo” (ALDER, 2003), que foi um marco para a busca de um sistema concreto e exato, o Sistema Métrico Decimal. Delambre e Méchain eram os astrônomos que estavam à frente da expedição para medir o arco do meridiano que passa por Paris. Entretanto, houve equívocos nos cálculos de Méchain, o que acabou comprometendo a exatidão da missão para definição do metro, o definindo com aproximadamente 0,2 milímetros mais curto (ALDER, 2003). Méchain anotara suas observações em folhas avulsas e à lápis. Além disso, ele recopiava anotações das folhas originais, as quais estavam perdidas

e ainda eliminava cálculos e colocava outros para que estivessem de acordo com seu resultado final, como citado por Ken Alder (2003, p.336-338):

Méchain suprimira e alterara dados. Às vezes, para disfarçar uma leitura geodésica anômala, incluía uma série discordante em uma série mais longa, como se ela tivesse sido observada no mesmo dia, fazendo o resultado parecer mais consistente do que era comprovado. Com mais frequência, simplesmente descartava as séries que não concordavam com seus resultados anteriores, ou que impediam seus triângulos de convergir em 180 graus. Em uma ocasião, Méchain descartou uma série que lhe pareceu anômala, enquanto, como Delambre descobriu, simplesmente calculara mal e os dados eram válidos.

Este problema foi percebido quando Delambre organizou, de uma forma cronológica e reescreveu a escrita à lápis com caneta, os registros de seu companheiro de expedição, Méchain (ALDER, 2003, p. 336).

Sendo assim, dependemos da metrologia, segundo o BIPM, para:

- O sucesso econômico das nações depende da capacidade de fabricar e comercializar produtos e componentes precisamente feitos e testados;
- Os sistemas de navegação por satélite e a correlação de tempo internacional tornam a localização precisa possível - permitindo a rede de sistemas de computador em todo o mundo e permitindo que aeronaves pousem com pouca visibilidade;
- A saúde humana depende criticamente da capacidade de fazer um diagnóstico preciso e no qual uma medição confiável é cada vez mais importante;
- Os consumidores têm que confiar na quantidade de gasolina fornecida por uma bomba.

Portanto, medições físicas e químicas afetam várias dinâmicas de funcionamento na sociedade. Por isso a importância da exatidão das unidades de medida, de como ela é definida e de como ela deve ser abordada.

Vislumbrando o sistema educacional, é perceptível o quanto a Física como ciência de precisão deve ser abordada, apresentando conhecimentos da Metrologia. Apesar disso, ainda é algo pouco consolidado, não só nas escolas, como também no ensino superior. Uma pesquisa realizada em 100 universidades brasileiras aponta que apenas 1% delas tem o ensino de Metrologia:

Observou-se que mais de 27% das universidades listadas são federais. Dentre as universidades listadas, 28% estão com a grade do curso indisponível no sítio da respectiva instituição, restando 72% para a investigação. Do total, apenas 1% apresentaram Metrologia na grade curricular. (ASSUNÇÃO; et.al, 2020, n.p.)

Esse é um cenário que precisa ser mudado, até porque há a emergência do ensino da Metrologia ainda na escola e, portanto, a necessidade de profissionais capacitados, para que transmitam o conhecimento da melhor forma possível. Isso se torna bem mais evidente com a proposta do Novo Ensino Médio, o qual menciona a Metrologia como currículo proposto pelos itinerários formativos, correspondendo, finalmente, a uma grande oportunidade de popularizar entre os jovens a compreensão dessa Ciência, sendo um “instrumento que pode facilitar a inserção da Metrologia nas redes de ensino” (ASSUNÇÃO; et.al, 2020, np), aperfeiçoando e incrementando o letramento científico. Sendo assim:

Esse contexto pode evidenciar mais uma necessidade de aprimoramento dos cursos de formação de professores de Física, pois a educação nacional necessita de mudanças, situação que é altamente divulgada na literatura (ASSUNÇÃO; NASCIMENTO, 2019a; 2019b, n.p.). Assunção e Silva (2020, n.p.) destacam que os documentos apresentam uma proposta didática inovadora e elegem a Alfabetização Científica como pedagogia orientadora para uma melhor compreensão dessas propostas. (ASSUNÇÃO; et.al, 2020, n.p.)

Nesse sentido, o INMETRO encarrega-se, no Brasil, de assegurar a precisão dos objetos, assim como sua qualidade e segurança. Você já imaginou como a medida de somente um parafuso pode influenciar no funcionamento inteiro de uma construção. Portanto, é um alicerce para outras Ciências, como a Física, a Química e a Biologia, porque o sucesso de uma teoria ou mesmo de um instrumento, depende da Metrologia.

Assim, conseguimos vislumbrar como a precisão contribui para o sucesso de teorias. O relógio atômico óptico, dos cientistas Hidetoshi Yatori e Jun Ye, representam um grande salto para a tecnologia e mesmo para a Física, pois permite fazer ótimas análises da Natureza, a partir de sua grande capacidade de precisão.

Este novo relógio é tão preciso que deve sofrer um atraso de menos de 1 segundo após 30 bilhões de anos em funcionamento. Isso é mais que o dobro da idade do próprio universo. Até então, os relógios considerados recordistas em precisão são os atômicos, que se baseiam nos saltos quânticos dos elétrons em átomos energizados. (CAVALCANTE, 2021, n.p.)

Afinal, se ganha com isso somente uma contagem do tempo em uma menor escala? E a resposta é não! Apesar de parecer algo tão banal, a contagem precisa do tempo (assim como das outras grandezas) permite o estudo e a evidência de teorias. A manifestação do tempo físico é uma ação importante para o espaço-tempo e suas características, ou seja, qualquer que seja a variação, é importante para a natureza, mesmo que não altere o que fazemos ordinariamente. Por isso, é uma grande realização para experimentos da Relatividade de Einstein, assim como para os sistemas de navegação.

Entre as aplicações práticas dessa tecnologia, de acordo com a Breakthrough, está uma enorme melhoria da precisão do Sistema de Posicionamento Internacional e de

várias redes de navegação por satélite, além de maior precisão na orientação das sondas espaciais. O relógio de rede óptica também pode permitir novos experimentos da Relatividade de Einstein, como testes do efeito de dilatação do tempo (que é a diferença temporal verificada em dois relógios quando um deles está se movendo em uma velocidade comparável à velocidade da luz ou sujeito a um campo gravitacional diferente do outro relógio). [...] Por fim, os relógios de rede óptica podem ajudar a detectar ondas gravitacionais, outra previsão da Relatividade Geral, que resulta em ondulações no espaço-tempo quando objetos muito massivos, como dois buracos negros, colidem. O novo relógio poderia mostrar aos pesquisadores pequenas variações de tempo induzidas por essas ondulações no espaço-tempo. Ye mencionou que os relógios de rede óptica podem ajudar até mesmo na busca pela matéria escura. (CAVALCANTE, 2021, n.p.)

Logo, adotar e conhecer medidas e unidades mais precisas é um caminho para o futuro. Na precisão, guardam-se novas teorias e leis da natureza, novos experimentos, aparelhos, aplicações e explicações, ou seja, novas incógnitas que ainda se encontrarão em um espectro que somente a Metrologia conseguirá entender, o que ditará novos cursos para a humanidade e para a Ciência.

10 EBOOK COMO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desta dissertação foi materializado sob o formato de um e-book. Ele foi produzido com a pretensão de possibilitar aos professores de Física que atuam na Educação Básica a utilização dessa ferramenta de trabalho relacionada ao ensino de unidades de medida com alunos do primeiro ano do Ensino Médio. Dentre outros aspectos, o e-book aborda o contexto histórico e a importância política, econômica, científica e sociocultural das unidades de medida em contextos sociais. Além disso, o material produzido também contempla as mudanças de paradigma promovidas a partir do efetivo uso das unidades de medidas no dia a dia e seus efeitos positivos.

Por meio da utilização do e-book nas aulas de Física, pretende-se que os estudantes possam aprender, com mais dinamicidade, conteúdos relacionados à Metrologia, bem como compreenderem a importância da Física como ciência de precisão, expandindo os roteiros tradicionais comuns em livros didáticos. Como estratégia de ensino-aprendizagem, o e-book poderá contribuir para despertar a participação dos estudantes ao longo das aulas e a apropriação de conceitos e de atividades pontuais, enfatizando a relevância das unidades medidas.

A concepção do e-book foi fundamentada na TCC, de Gérard Vergnaud. Essa teoria parte da experimentação e da definição de princípios, baseados na formulação dos campos conceituais e no conhecimento relativo a conceitos organizados em esquemas, entendidos com “a totalidade dinâmica organizadora da ação e do comportamento do sujeito para uma determinada situação” (BARROS, 1990). Com isso, um conceito não deve ser reduzido a uma simples definição, mas sim relacionado a situações que se referem a tarefas, ou à combinação de tarefas, dependendo da complexidade da situação, conhecendo sua dificuldade própria e natureza (BARROS, 1990, p. 146 apud MOREIRA, 1993, p. 9) e aos conhecimentos construídos previamente pelos alunos (BARROS, 1990).

O e-book será disponibilizado, gratuitamente, em ambiente virtual, alinhando-se às transformações tecnológicas que a educação vem experimentando desde as duas últimas décadas do século XX. Democrático que é, o produto educacional poderá ser acessado facilmente por meio de qualquer dispositivo móvel, independentemente do sistema operacional – Android ou IOS, acessando o link <https://bit.ly/fisicadeprecisao>. Portanto, espera-se que o efetivo uso dessa ferramenta de trabalho seja dinâmico e interativo entre professores e alunos e que possa produzir os aprendizados esperados.

11 METODOLOGIA

A pesquisa é de caráter quantitativo. A escolha por essa metodologia visa mensurar dados que são de extrema importância para a compreensão do objeto pesquisado. Nesse caso, verifica-se se os alunos da primeira série do Ensino Médio compreendem e entendem as unidades de medida, só é possível com a utilização de uma metodologia que seja capaz de captar todo o fenômeno em que o objeto está inserido.

Assim, a pesquisa quantitativa configura-se por:

a pesquisa quantitativa é uma modalidade de pesquisa que atua sobre um problema humano ou social, é baseada no teste de uma teoria e composta por variáveis quantificadas em números, as quais são analisadas de modo estatístico, com o objetivo de determinar se as generalizações previstas na teoria se sustentam ou não. Nesse sentido, a pesquisa quantitativa está ligada ao dado imediato. O que isso quer dizer? Significa que ela se preocupa com a quantificação dos dados, comprovando se uma teoria é válida ou não a partir de análises estatísticas. (KNECHTEL, 2014, n.p.)

Para realização desta pesquisa é de suma importância que se saiba sobre os conhecimentos prévios dos estudantes, assim como do seu nível sobre o assunto, com a finalidade de se ter conhecimento sobre o aproveitamento do material elaborado como produto educacional. Além disso, é imprescindível as informações coletadas pelos alunos no decorrer dos anos sobre as unidades de medida, o que é essencial para o aperfeiçoamento sobre o entendimento deste conteúdo e acerca da construção dos campos conceituais pelos mesmos, à luz da teoria de Gérard Vergnaud.

Assim, como instrumento de coleta de dados, usaremos o questionário. A escolha desse instrumento dar-se-á por ser uma ferramenta de fácil uso e eficiente para se coletar os dados necessários. Sobre o questionário podemos afirmar que

como a técnica de investigação composta por um número mais ou menos elevado de questões apresentadas por escrito às pessoas, tendo por objetivo o conhecimento de opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, situações vivenciadas etc. (GIL, 1999, p.128, n.p.)

Gil (1999, p. 128-129) afirma, ainda, sobre questionário:

a) possibilita atingir grande número de pessoas, mesmo que estejam dispersas numa área geográfica muito extensa, já que o questionário pode ser enviado pelo correio; b) implica menores gastos com pessoal, posto que o questionário não exige o treinamento dos pesquisadores; c) garante o anonimato das respostas; d) permite que as pessoas o respondam no momento em que julgarem mais conveniente; e) não expõe os pesquisadores à influência das opiniões e do aspecto pessoal do entrevistado.

Por isso, foi elaborado e aplicado um questionário (ver apêndice A), para os alunos do primeiro ano do Ensino Médio, dos Centros Educa Mais Dayse Galvão de Sousa e do Centro Educa Mais João Francisco Lisboa – CEJOL.

11.1 Caracterização do campo de pesquisa

Dessa forma, a pesquisa foi realizada no dia 04 de Dezembro de 2020, com alunos 32 alunos da primeira série da Escola Centro Educa Mais Dayse Galvão de Sousa, localizada na Avenida do Contorno – Vila Embratel, São Luís, MA. E na Escola Centro Educa Mais João Francisco Lisboa (CEJOL), localizada na Rua Oswaldo Cruz, 954, Canto da Fabril – Centro São Luís, MA, realizada no dia 23 de agosto de 2021. Nessa escola 45 alunos participaram da pesquisa.

11.2 Perfil dos participantes da pesquisa

Os alunos participantes da pesquisa encontram-se no primeiro ano do Ensino Médio, possuem entre 15 e 16 anos. A grande maioria é oriunda da Rede Estadual de Ensino (São Luís/MA), vindo da periferia da região metropolitana da Grande São Luís.

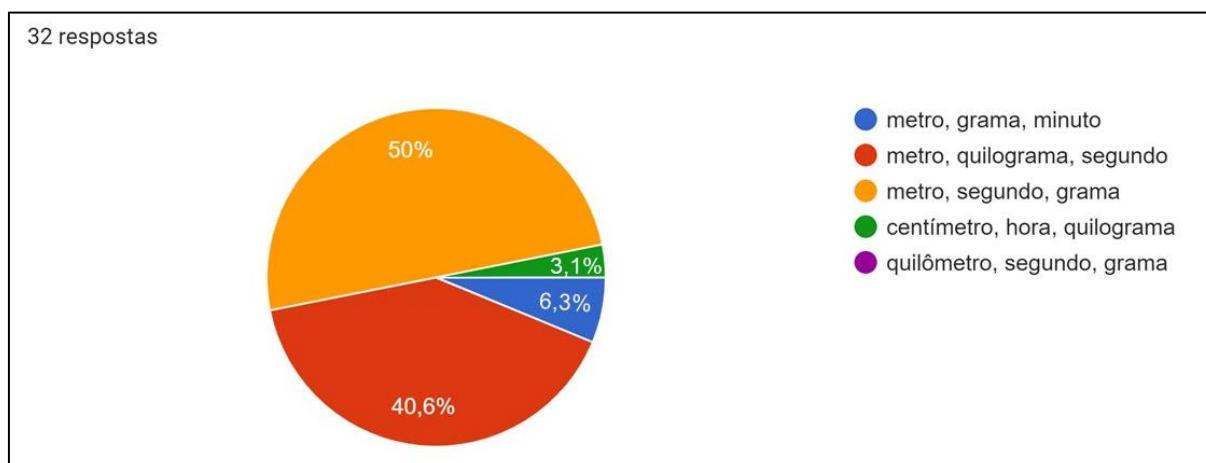
A escolha desse grupo de alunos deu-se, também, pelo fato do conteúdo das unidades de medida ser abordado nessa série nos livros didáticos. Portando, ao se apropriar desse assunto o aluno desenvolve habilidades e competências específicas para o seu cotidiano.

11.3 Análise de dados

Os dados apresentados foram baseados na aplicação de um questionário, composto de dez questões, sobre unidades de medida. A partir das respostas dos participantes da pesquisa, foi possível realizar a análise dos dados coletados.

Começamos pelos resultados apresentados na Escola Dayse Galvão de Sousa.

A primeira questão referia-se às unidades de medidas do SI. A resposta correta seria “metro, quilograma, segundo”, constante da alternativa B. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 1**, mostrado a seguir:

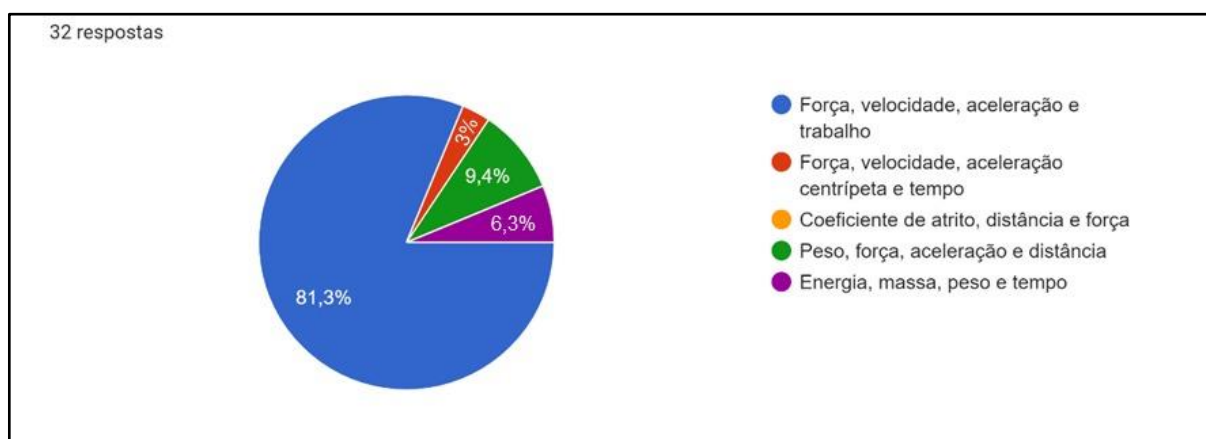
Gráfico 1: Dados da questão 01 – Dayse Galvão

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

Observou-se que 50% dos participantes responderam que metro, segundo e grama são unidades do Sistema Internacional de Unidades; 40,6% responderam que metro, quilograma, segundo são unidades do Sistema Internacional de Unidades; 6,3% optaram por metro, grama, minuto como unidades do Sistema Internacional de Unidades; e 3,1% responderam centímetro, hora, quilograma.

Diante das respostas, percebeu-se que mais da metade dos participantes desconhecem as unidades do Sistema Internacional.

A segunda questão referia-se às unidades derivadas do SI. A resposta correta seria “força, velocidade, aceleração e trabalho”, constante da alternativa A. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 2**, mostrado a seguir:

Gráfico 2: Dados da questão 02 – Dayse Galvão

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

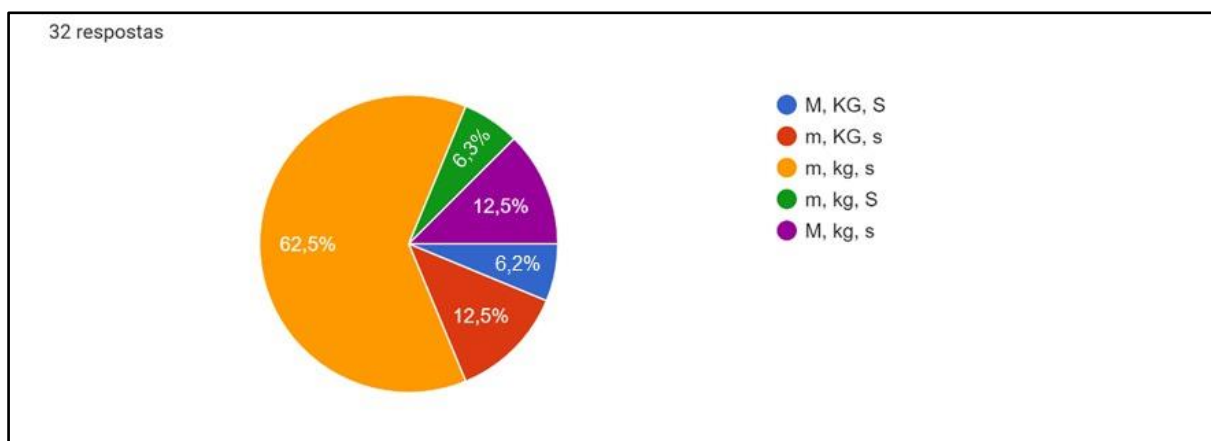
Conforme o Gráfico 2, percebeu-se que 81,3% dos participantes responderam que força, velocidade, aceleração e trabalho são grandezas derivadas do Sistema Internacional de

Unidades; 9,4% responderam que peso, força, aceleração e distância são grandezas derivadas do Sistema Internacional de Unidades; 6,3% optaram pela resposta que apresentava energia, massa, peso e tempo como grandezas derivadas do Sistema Internacional de Unidades; 3% dos participantes responderam que força, velocidade, aceleração centrípeta e tempo são grandezas derivadas do Sistema Internacional de Unidades.

Assim, é notório que a maioria dos participantes (81,3%) tem conhecimento do que é uma grandeza derivada, ficando evidenciado que, dessa forma, no Sistema Internacional de Unidades, as grandezas derivadas são aquelas que podem ser obtidas por operações entre as unidades fundamentais.

A terceira questão referia-se ao reconhecimento dos símbolos das unidades de medidas do SI. A resposta correta seria “m, kg, s”, constante da alternativa C. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 3**, mostrado a seguir:

Gráfico 3: Dados da questão 03 – Dayse Galvão



Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

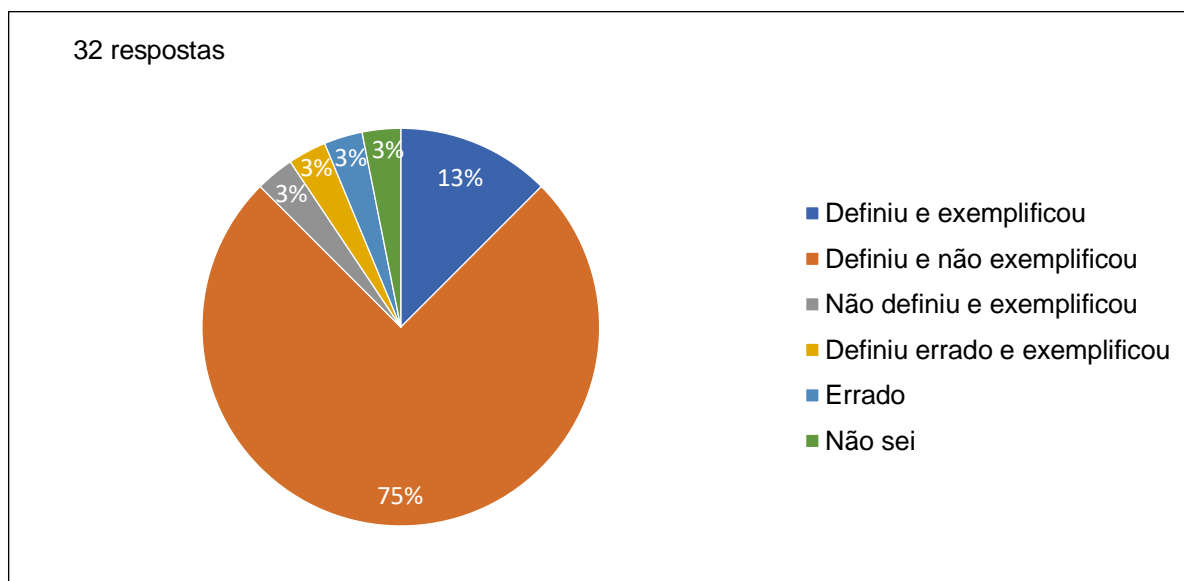
Conforme o Gráfico 3, observou-se que 62,5% dos participantes responderam que m, kg, s, são símbolos das unidades de medidas do Sistema Internacional de Unidades; 12,5% responderam que m, KG, s são símbolos das unidades de medidas do Sistema Internacional de Unidades; 12,5% responderam que M, kg, s são símbolos das unidades de medidas do Sistema Internacional de Unidades; 6,3% responderam que m, kg, S são símbolos das unidades de medidas do Sistema Internacional de Unidades; e 6,2% dos participantes responderam que M, KG, S são símbolos das unidades de medidas do Sistema Internacional de Unidades.

Diante das respostas apresentadas, constatou-se que a maioria dos participantes reconheceu que as unidades do SI podem ser representadas por meio de símbolos, escolhendo

a alternativa correta, que expressa todos os símbolos em letras minúsculas, de acordo com o que determina as regras para a escrita dos nomes e símbolos das unidades.

A quarta questão, que é uma pergunta aberta, referia-se ao que é uma grandeza adimensional, citando pelo menos um exemplo. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 4**, mostrado a seguir:

Gráfico 4: Dados da questão 04 – Dayse Galvão

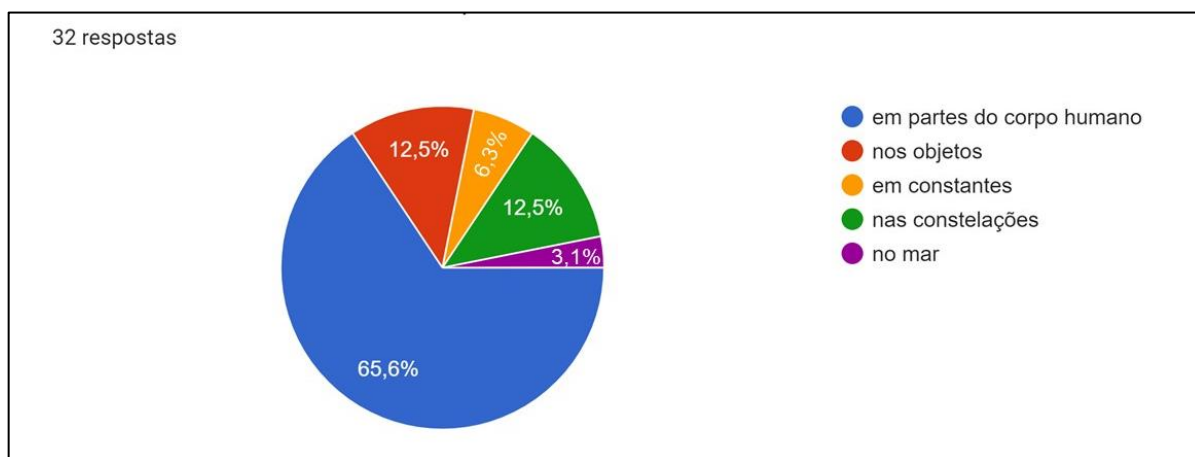


Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

Conforme demonstrado no Gráfico 4, 13% dos participantes definiram e exemplificaram corretamente uma grandeza adimensional; 75% definiram corretamente, mas não exemplificaram; 3% não definiram, mas exemplificaram corretamente; 3% definiram incorretamente, mas exemplificaram corretamente; 3% responderam incorretamente e também erraram o exemplo; e 3% dos participantes responderam que não sabiam a questão.

Diante das respostas, percebeu-se que a maioria dos participantes demonstraram não ter certeza do que seja uma grandeza adimensional, tendo em vista que as definições apresentadas nas respostas não se relacionavam corretamente com os exemplos citados.

A quinta questão referia-se às unidades de medida, criadas e adaptadas de acordo com a necessidade dos povos ao longo da história da humanidade. A resposta correta seria “em partes do corpo humano”, constante da alternativa A. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 5**, mostrado a seguir:

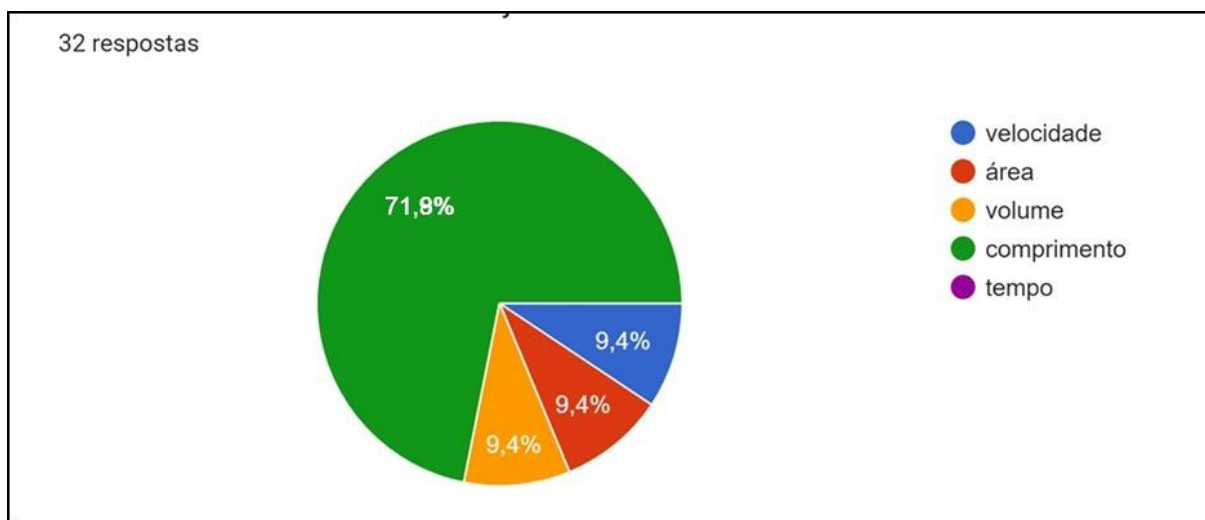
Gráfico 5: Dados da questão 05 – Dayse Galvão

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

De acordo com o Gráfico 5, 65,6% dos participantes optaram pela alternativa A, cuja descrição era “em partes do corpo humano”; 12,5% marcaram a opção “nas constelações”; também 12,5% escolheram a alternativa “nos objetos”; 6,3% disseram que a alternativa correta seria “em constantes”; 3,1% dos participantes marcaram a alternativa “no mar” como correta.

Pôde-se então perceber que a exposição sobre o percentual de participantes que escolheram que ao longo da história da humanidade as unidades de medidas eram criadas e adaptadas de acordo com as necessidades dos povos e que muitas dessas medidas eram realizadas, baseadas em partes do corpo humano, corresponde à alternativa mais selecionada. Com isso, a maioria dos participantes optaram pela alternativa correta, obtendo êxito nessa temática.

A sexta questão referia-se ao uso da jarda como unidade de medida, utilizada, por exemplo, na Inglaterra e nos Estados Unidos. A resposta correta seria “comprimento”, constante da alternativa D. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 6**, mostrado a seguir:

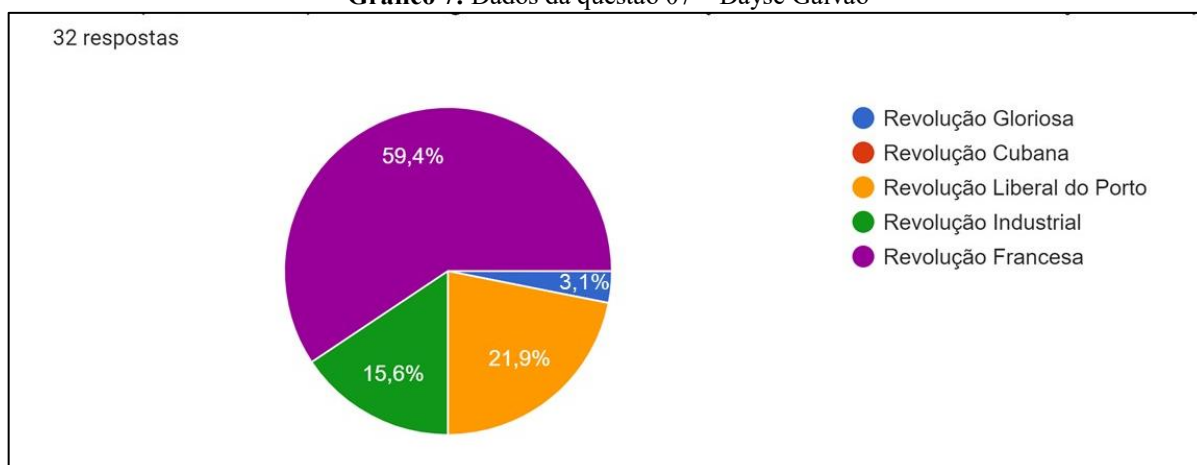
Gráfico 6: Dados da questão 06 – Dayse Galvão

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

Conforme o Gráfico 6, notou-se que 71,8% dos participantes marcaram a opção “comprimento”; 9,4% optaram por “velocidade”; 9,4% escolheram a alternativa “área”; também 9,4% dos participantes marcaram a alternativa “volume”.

Diante do exposto, ficou evidente que a maioria dos participantes que relacionaram a jarda como uma unidade de comprimento demonstraram ter conhecimento sobre esse assunto.

A sétima questão referia-se à criação do Sistema Métrico e ao seu contexto histórico. A resposta correta seria “Revolução Francesa”, constante da alternativa E. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 7**, mostrado a seguir:

Gráfico 7: Dados da questão 07 – Dayse Galvão

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

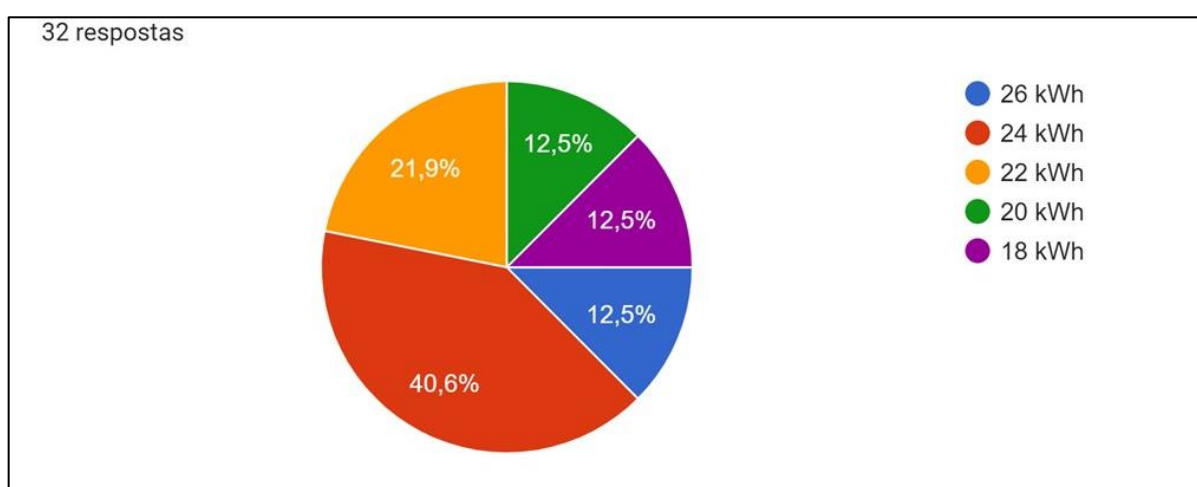
O Gráfico 7 apresentou que 59,4% dos participantes escolheram a alternativa que se refere à Revolução Francesa; 21,9% optaram como alternativa correta a Revolução Liberal

do Porto; 15,6% marcaram a Revolução Industrial; 3,1% dos participantes escolheram como resposta a Revolução Gloriosa.

Conforme demonstrado no gráfico, a maioria dos participantes responderam corretamente à pergunta, visto que a Revolução Francesa (1789-1799) coincidiu com o período da criação do Sistema Métrico.

A oitava questão referia-se ao cálculo de consumo de energia elétrica. A resposta correta seria “24 kWh”, constante da alternativa B. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 8**, mostrado a seguir:

Gráfico 8: Dados da questão 08 – Dayse Galvão

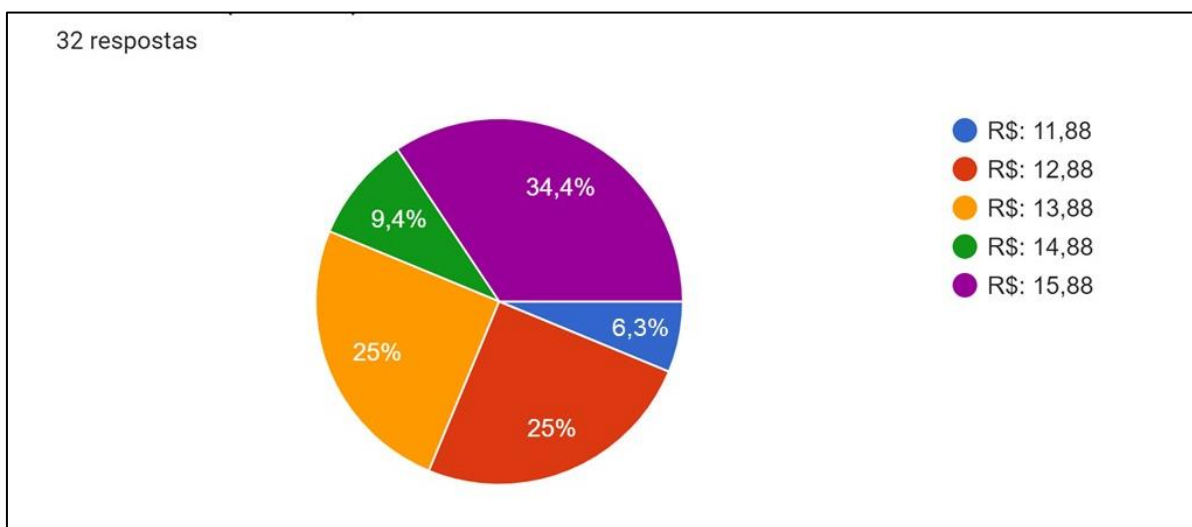


Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

Ficou constatado, no Gráfico 8, que 40,6% dos participantes disseram que a resposta correta seria 24 kWh; 21,9% dos participantes optaram por 22 kWh; 12,5% marcaram 20 kWh; 12,5% responderam que seria 18 kWh.

Notou-se que a maioria dos participantes (59,4%) não conseguiu relacionar o consumo de energia elétrica com a potência elétrica do equipamento e o seu tempo de funcionamento.

A nona questão referia-se ao custo do consumo de energia elétrica de acordo com a tarifa residencial local durante um mês. A resposta correta seria “R\$ 14,88”, constante da alternativa D. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 9**, mostrado a seguir:

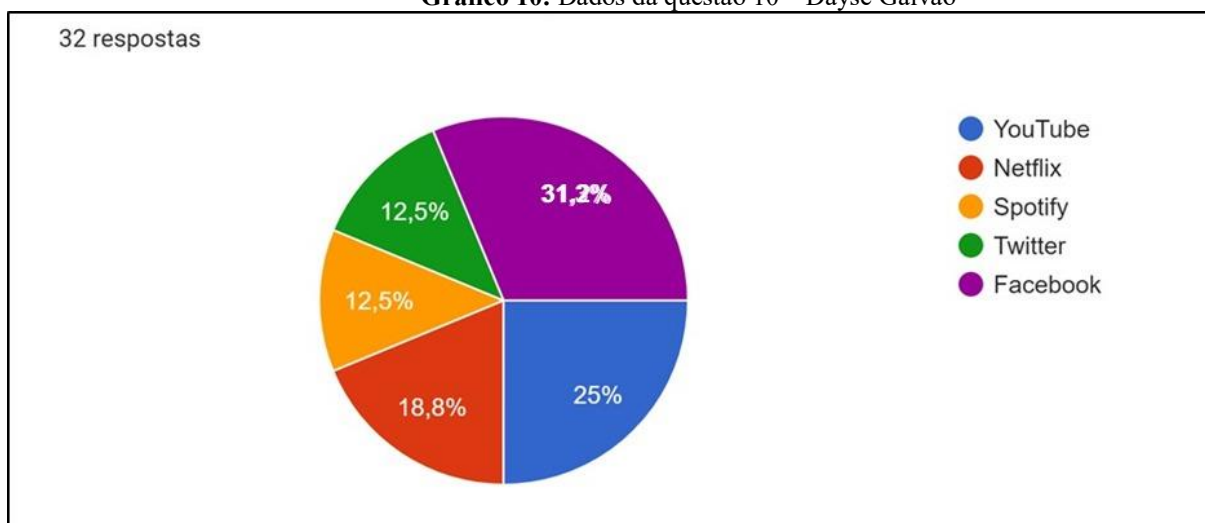
Gráfico 9: Dados da questão 09 – Dayse Galvão

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

De acordo com o Gráfico 9, 34,4% dos participantes responderam que a opção correta seria R\$ 15,88; 25% responderam que seria R\$ 12,88; 25% disseram que a resposta seria R\$ 13,88; 9,4% afirmaram ser R\$ 14,88 a resposta correta; 6,3% deram como correta a resposta R\$ 11,88.

No conjunto, as respostas demonstraram que 90,6% dos participantes avaliados não souberam relacionar o valor do consumo de energia elétrica pela lâmpada durante o mês de acordo com a tarifa local.

Por fim, a décima questão, que se referia ao consumo de dados de internet em diferentes canais tecnológicos, apresentava como resposta correta “Facebook”, constante da alternativa E. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 10**, mostrado a seguir:

Gráfico 10: Dados da questão 10 – Dayse Galvão

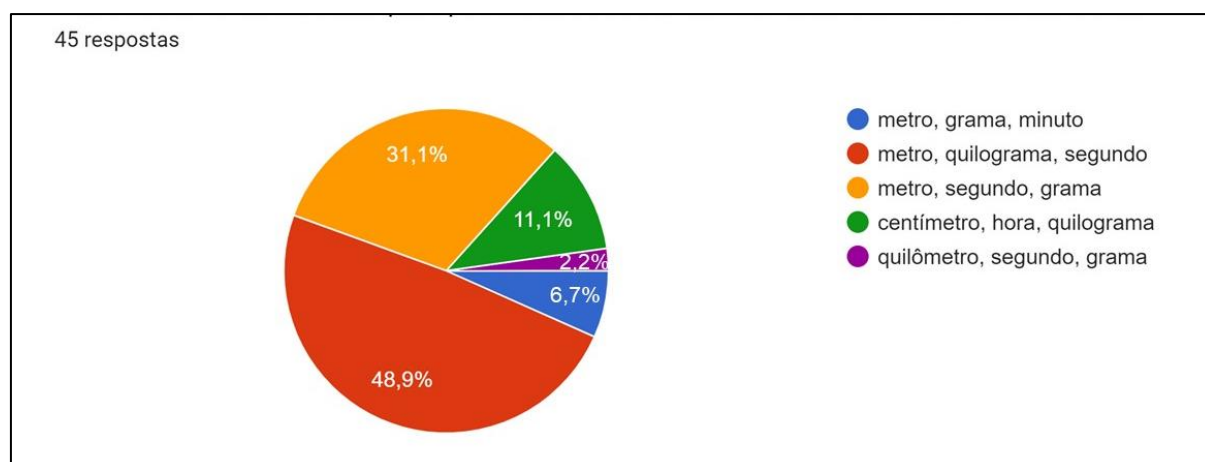
Fonte: Produzido pelo Autor, 2020

Conforme o Gráfico 10, tem-se que 31,2% dos participantes responderam Facebook; 25% disseram ser o You Toubé a resposta correta; 18,8% escolheram o Netflix; 12,5% optaram ser o Spotify a opção correta; 12,5% afirmaram ser o Twitter.

Diante do exposto, é possível concluir que 68,8% dos participantes não souberam relacionar o consumo de dados ao tempo de uso dos canais/aplicativos de internet.

Concluídos os resultados dos dados apresentados na Escola Dayse Galvão de Sousa, passemos às análises dos dados obtidos no CEM João Francisco Lisboa – CEJOL.

A primeira questão referia-se às unidades de medidas do SI. A resposta correta seria “metro, quilograma, segundo”, constante da alternativa B. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 11**, mostrado a seguir:

Gráfico 11: Dados da questão 01 – CEJOL

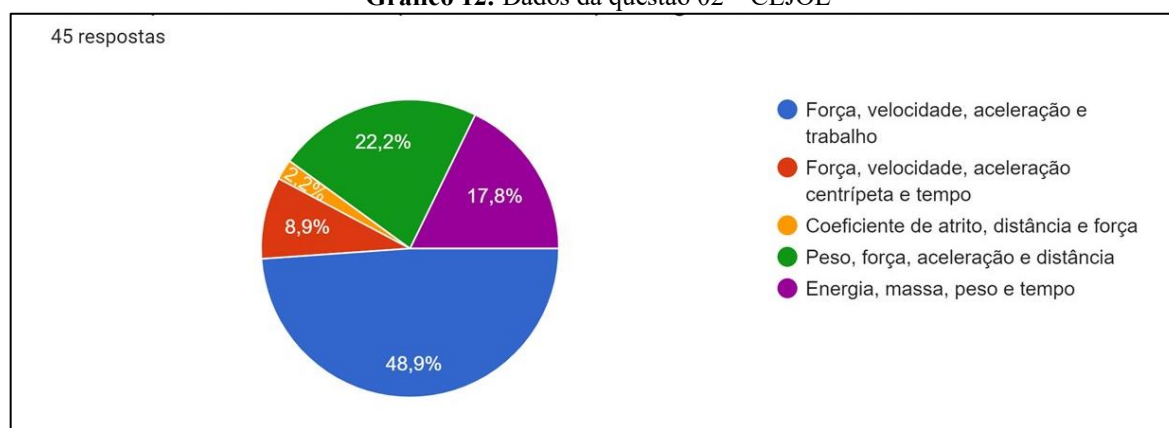
Fonte: Produzido pelo Autor, 2021

O Gráfico 11 mostrou que 48,9% dos participantes afirmaram ser correta a resposta “metro, quilograma, segundo”; 31,1% disseram que a resposta seria “metro, segundo, grama”; 11,1% responderam que seria “centímetro, hora, quilograma”; 6,7% indicaram como resposta correta “metro, grama, minuto”; 2,2% afirmaram que a resposta correta seria “quilômetro, segundo, grama”.

As respostas demonstraram que 69,9% dos participantes desconhecem que metro, segundo e grama fazem parte do Sistema Internacional de Unidades.

A segunda questão referia-se às unidades derivadas do SI. A resposta correta seria “força, velocidade, aceleração e trabalho”, constante da alternativa A. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 12**, mostrado a seguir:

Gráfico 12: Dados da questão 02 – CEJOL

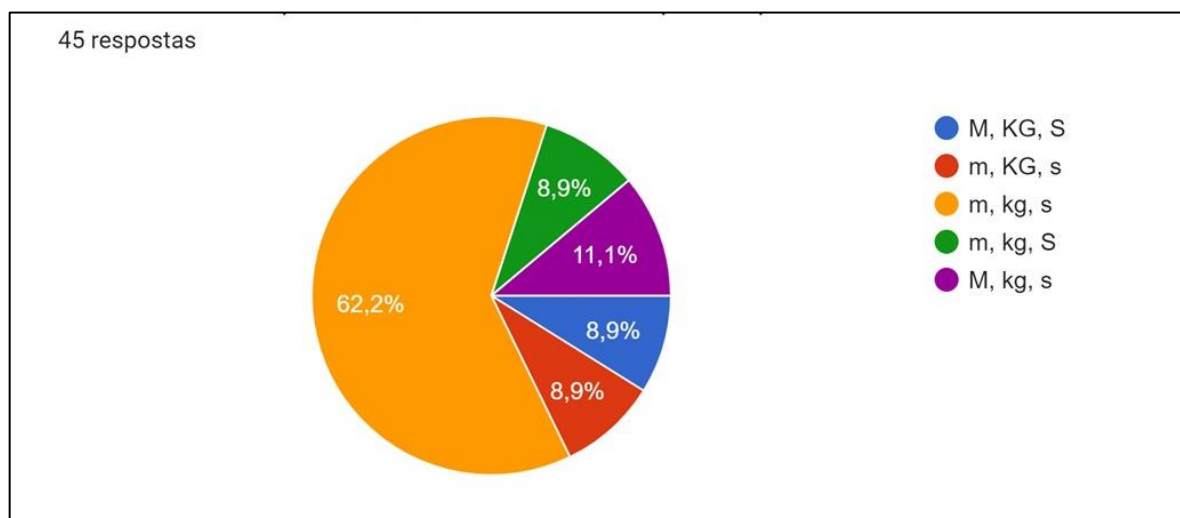


Fonte: Produzido pelo Autor, 2021

Com relação ao Gráfico 12, temos que 48,9% dos participantes da pesquisa optaram por força, velocidade, aceleração e trabalho como resposta correta; 22,2% marcaram como opção peso, força, aceleração e distância; já 17,8% indicaram que energia, massa, peso e tempo era a alternativa correta; 8,9% marcaram força, velocidade, aceleração e trabalho e 2,2% indicaram coeficiente de atrito, distância e força.

Diante do exposto, concluiu-se que a maioria (51,1%) dos participantes desconhecem que as grandezas derivadas podem ser obtidas por operações entre as grandezas fundamentais.

A terceira questão referia-se ao reconhecimento dos símbolos das unidades de medidas do SI. A resposta correta seria “m, kg, s”, constante da alternativa C. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 13**, mostrado a seguir:

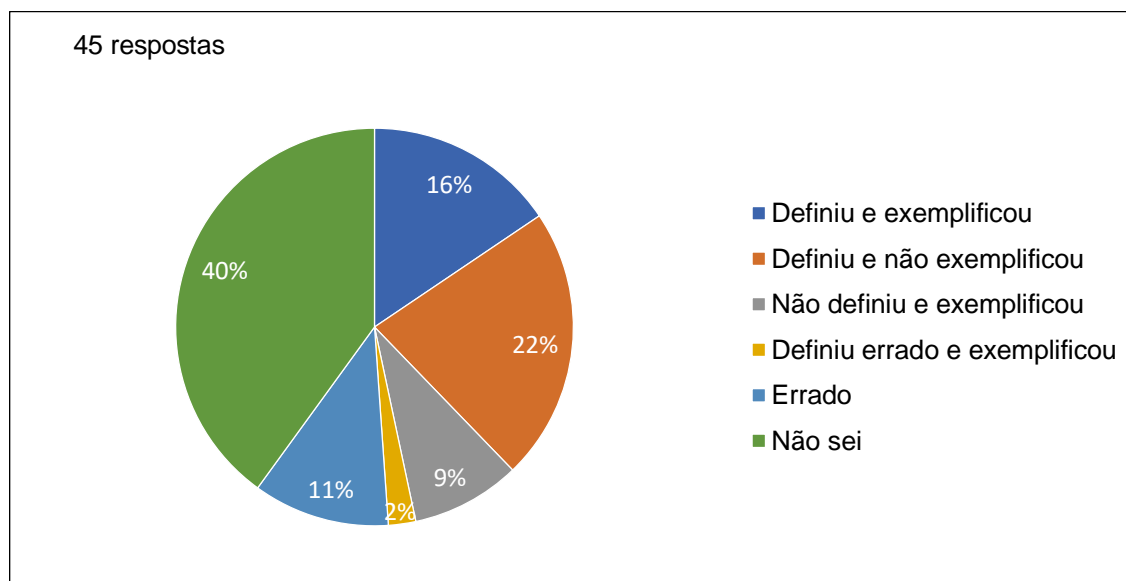
Gráfico 13: Dados da questão 03 – CEJOL

Fonte: produzido pelo autor, 2021

A pesquisa mostrou que, no Gráfico 13, 62,2% dos participantes indicaram que m, kg, s era a resposta correta; 8,9% marcaram M, KG, S; 8,9% apontaram m, KG, s; 11,1% optaram M, kg, s e 8,9 % escolheram m.kg, S como opção correta.

Diante dos dados, percebeu-se que a maioria dos participantes tem entendimento de que as unidades de comprimento, massa e tempo devem ser grafadas com letras minúsculas, quando representadas por símbolos. A esse respeito, deve-se esclarecer que nem todas as unidades do SI são simbolizadas por letras minúsculas, como é o caso do *ampère* e do *kelvin*, cujas representações simbólicas são, respectivamente, A e K, em conformidade com as regras estabelecidas para representar os nomes e os símbolos das unidades do SI.

A quarta questão, que é uma pergunta aberta, referia-se ao que é uma grandeza adimensional, citando pelo menos um exemplo. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 14**, mostrado a seguir:

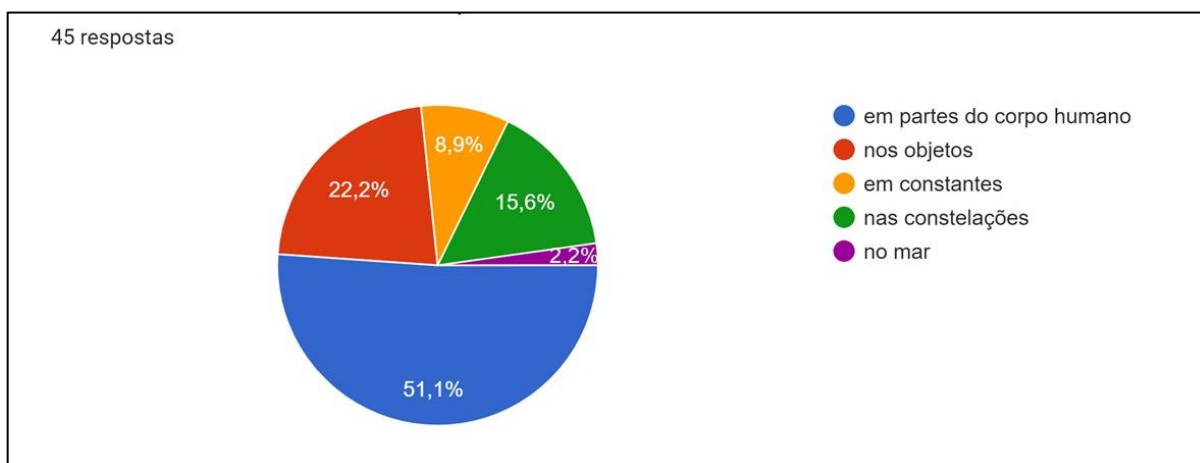
Gráfico 14: Dados da questão 04 – CEJOL

Fonte: produzido pelo autor, 2021

Conforme demonstrado no Gráfico 14, 16% dos participantes definiram e exemplificaram corretamente uma grandeza adimensional; 22% definiram corretamente, mas não exemplificaram; 9% não definiram, mas exemplificaram corretamente; 2% definiram incorretamente, mas exemplificaram corretamente; 11% responderam incorretamente e também erraram o exemplo; e 40% dos participantes responderam que não sabiam a questão.

Diante das respostas, percebeu-se que mais de 80% dos participantes demonstraram não ter certeza do que seja uma grandeza adimensional, tendo em vista que as definições apresentadas nas respostas não se relacionavam corretamente com os exemplos citados.

A quinta questão referia-se às unidades de medida criadas e adaptadas de acordo com a necessidade dos povos. A resposta correta seria “em partes do corpo humano”, constante da alternativa A. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 15**, mostrado a seguir:

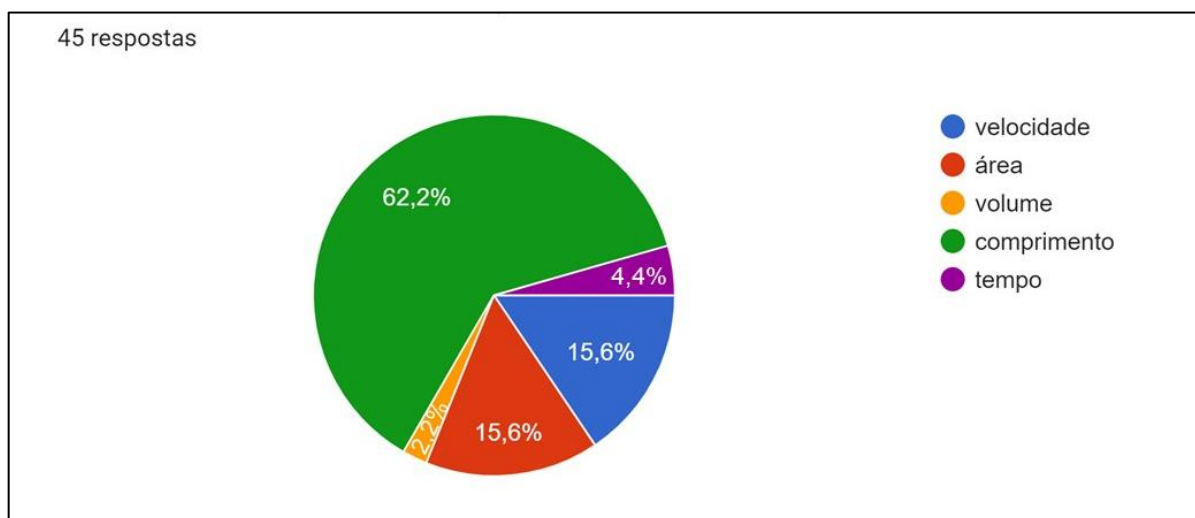
Gráfico 15: Dados da questão 05 – CEJOL

Fonte: produzido pelo autor, 2021

De acordo com o Gráfico 15, 51,1% dos participantes optaram pela alternativa que condiz com as partes do corpo humano; 22,2% disseram que as medidas eram baseadas nos objetos; 15,6% indicaram como resposta correta que as medidas eram baseadas nas constelações; 8,9% escolheram a alternativa que mencionava as constantes; e 2,2% apontaram que a alternativa correta era no mar.

Tendo em vista as respostas apresentadas, percebeu-se que a maioria dos participantes respondeu corretamente à pergunta formulada, ao indicar que as partes do corpo humano serviam como medidas, de acordo com as necessidades dos povos ao longo da história da humanidade.

A sexta questão referia-se à jarda como unidade de medida utilizada na Inglaterra e nos Estados Unidos. A resposta correta seria “comprimento”, constante da alternativa D. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 16**, mostrado a seguir:

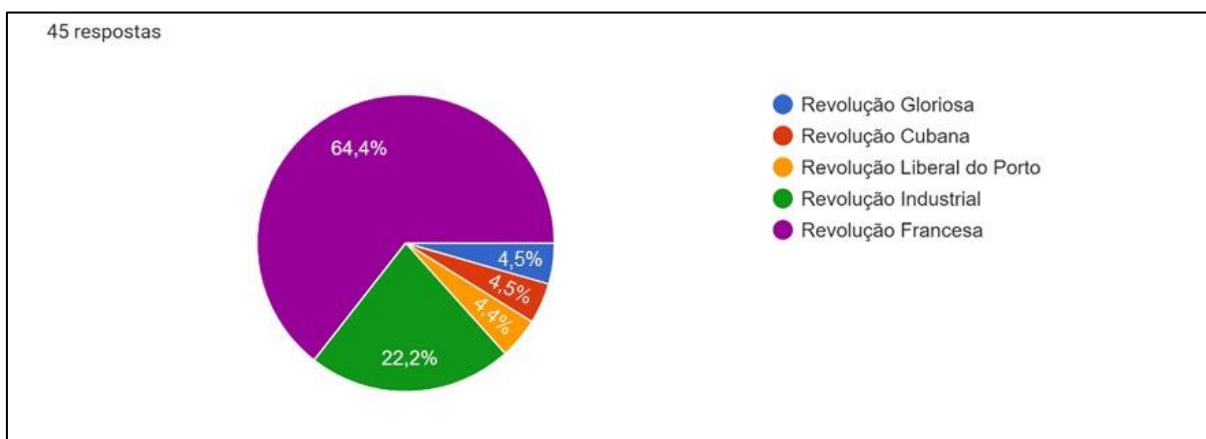
Gráfico 16: Dados da questão 06 – CEJOL

Fonte: produzido pelo autor, 2021

De acordo com o Gráfico 16, foi constatado que 62,2% dos participantes responderam ser comprimento a alternativa correta; 15,6% disseram que o item correto era velocidade; 15,6% apontaram área como item correto; 4,4% responderam que o tempo era a resposta correta, enquanto que 2,2% disseram que o volume era a resposta correta.

Diante das respostas apresentadas, concluiu-se que mais de 60% dos participantes relacionaram corretamente a jarda ao comprimento, isto é, a maioria dos participantes possui conhecimento de que a unidade de comprimento refere-se à jarda como medida e que esse fato ainda é presente em determinados países, como, por exemplo, na Inglaterra e nos Estados Unidos da América.

A sétima questão referia-se à criação do Sistema Métrico e o seu contexto histórico. A resposta correta seria “Revolução Francesa”, constante da alternativa E. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 17**, mostrado a seguir:

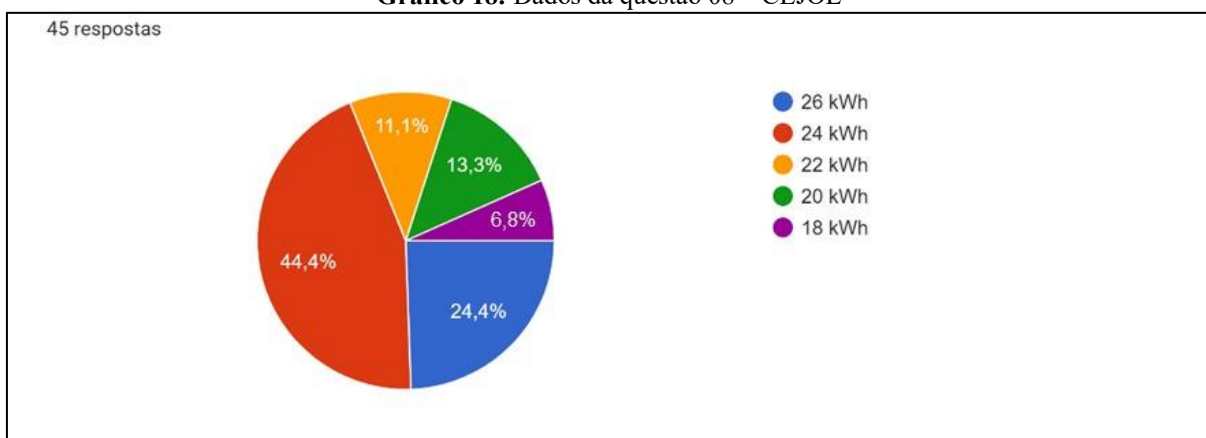
Gráfico 17: Dados da questão 07 – CEJOL

Fonte: produzido pelo autor, 2021

Observou-se, no Gráfico 17, que 64,4% dos participantes responderam que a Revolução Francesa está relacionada ao contexto de criação do Sistema Métrico; 22,2% indicaram como resposta a Revolução Industrial; 4,5% optaram a Revolução Gloriosa como resposta; 4,5% disseram Revolução Cubana e 4,4% apontaram a Revolução Liberal do Porto como resposta.

De acordo com os dados, observou-se que 64,4% dos participantes indicaram a resposta acertadamente, uma vez que a relação do Sistema Métrico Decimal com a Revolução Francesa ocorreu com o objetivo de padronizar as unidades de medida.

A oitava questão referia-se ao consumo de energia elétrica. A resposta correta seria “24 kWh”, constante da alternativa B. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 18**, mostrado a seguir:

Gráfico 18: Dados da questão 08 – CEJOL

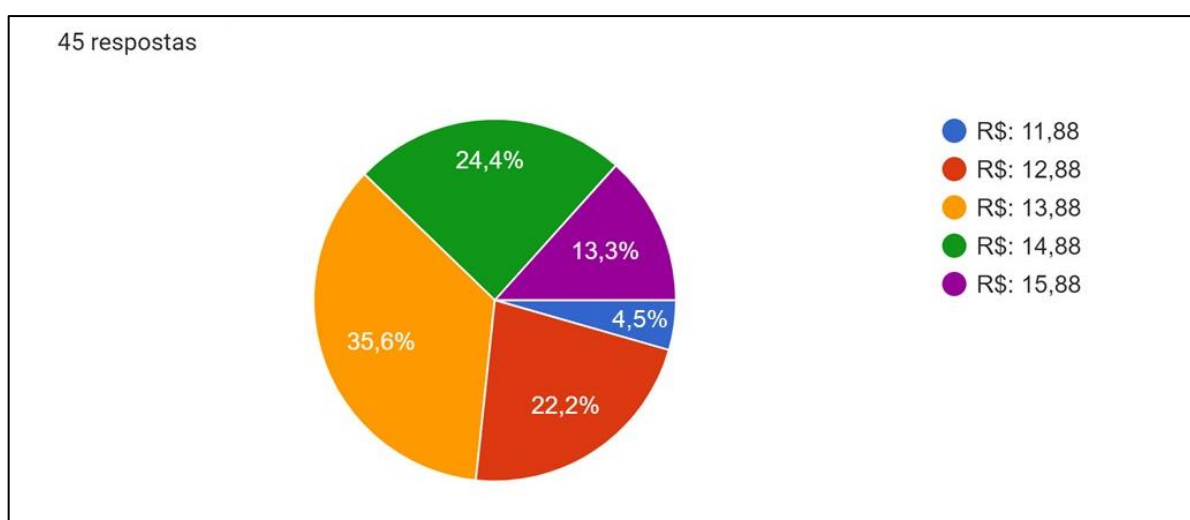
Fonte: produzido pelo autor, 2021

Conforme o Gráfico 18, notou-se que 44,4% dos participantes responderam 24 kWh; 24,4% responderam 26 kWh; 13,3% responderam 20 kWh; 11,1% responderam 22 kWh; e 6,8% responderam 18 kWh.

Os dados dessa questão informaram que a maioria dos participantes (55,6%) respondeu incorretamente a questão, demonstrando não saber relacionar o consumo de energia elétrica com a potência do equipamento e o seu tempo de funcionamento.

A nona questão referia-se ao custo do consumo de energia elétrica de acordo com a tarifa residencial local. A resposta correta seria “R\$: 14,88”, constante da alternativa D. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 19**, mostrado a seguir:

Gráfico 19: Dados da questão 09 – CEJOL

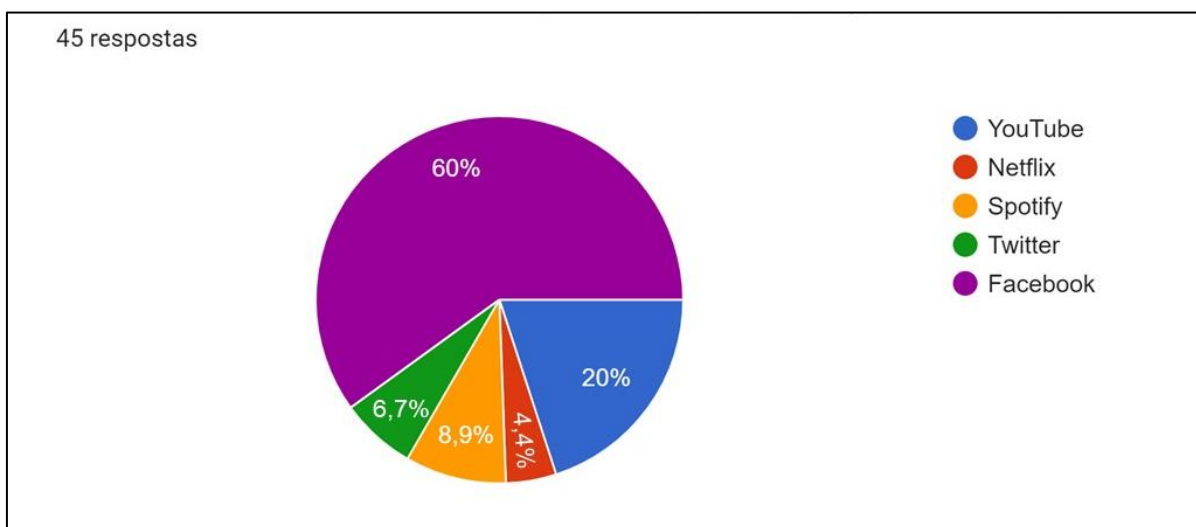


Fonte: produzido pelo autor, 2021

O Gráfico 19 dá continuidade ao estudo iniciado na pergunta anterior. De acordo com esse gráfico, 35,5% dos participantes responderam R\$: 13,88%; 24,4% indicaram R\$: 14,88; 22,2% apontaram que a resposta correta seria R\$: 12,88; 13,3% afirmaram que R\$: 15,88 era a resposta precisa; e 4,5% disseram que a resposta exata era R\$: 11,88.

Diante dos dados apresentados, percebeu-se que a maioria dos participantes (75,6 %) não soube relacionar o valor consumido pela lâmpada durante o mês, de acordo com a tarifa local.

Por fim, a décima questão referia-se ao consumo de dados de internet. A resposta correta seria “Facebook”, constante da alternativa E. Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, chegou-se ao **Gráfico 20**, mostrado a seguir:

Gráfico 20: Dados da questão 10 – CEJOL

Fonte: produzido pelo autor, 2021

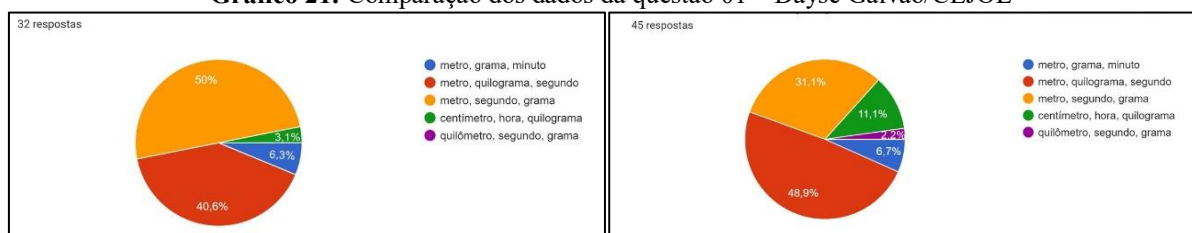
Percebeu-se, no Gráfico 20, que 60% dos participantes responderam ser o Facebook a alternativa correta; 20% apontaram o YouTube como resposta; 8,9% afirmaram que a resposta seria o Spotify; 6,7% responderam que seria o Twitter; e 4,4% indicaram como resposta a Netflix.

Os dados demonstraram que a maioria dos participantes respondeu corretamente à pergunta formulada, relacionando, de forma adequada, o consumo de dados ao tempo de uso dos aplicativos.

11.3.1 Análise Comparativa – CEM Dayse Galvão de Sousa e CEM João Francisco Lisboa (CEJOL)

A análise comparativa, a ser apresentada, não possui caráter classificatório nem valorativo, mas tão somente se refere a uma abordagem de natureza pedagógica no processo de ensino-aprendizagem. Isso se justifica pela adequação dos resultados coletados ao produto educacional desenvolvido a partir desta pesquisa, o qual é um *e-book*, a ser usado como ferramenta para o ensino de Física em turmas de primeira série do Ensino Médio.

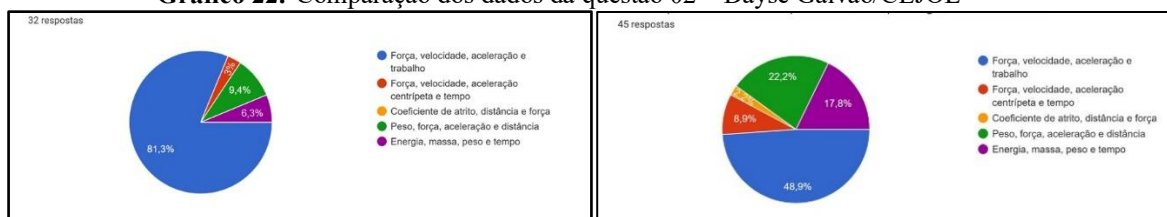
Diante dessas considerações, comparando os resultados constantes dos gráficos 01 e 11, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 21**, apresentado a seguir:

Gráfico 21: Comparação dos dados da questão 01 – Dayse Galvão/CEJOL

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

De acordo com o Gráfico 21, foi possível observar que 40,6% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à pergunta formulada, enquanto 48,9% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente. Notou-se que, em ambas as escolas pesquisadas, menos da metade dos participantes responderam corretamente à pergunta formulada, apesar de o CEM CEJOL ter apresentado maior percentual de acertos, em relação ao CEM Dayse Galvão. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, em ambas as escolas, a maioria dos participantes demonstrou não conhecer as unidades do Sistema Internacional.

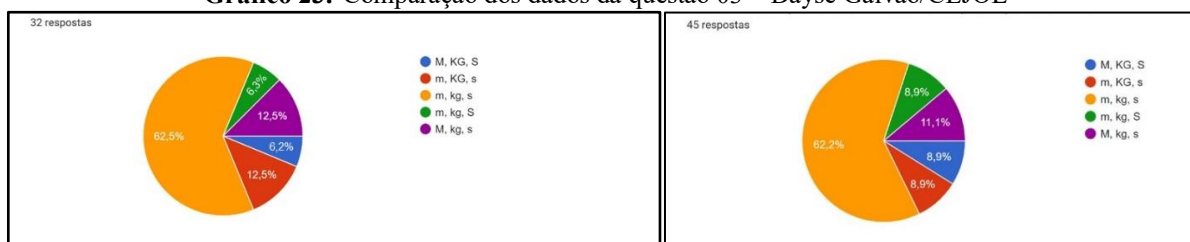
Comparando-se os resultados dos gráficos 02 e 12, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 22**, apresentado a seguir:

Gráfico 22: Comparação dos dados da questão 02 – Dayse Galvão/CEJOL

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

Conforme o Gráfico 22, foi possível observar que 81,3% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à pergunta formulada, enquanto 48,9% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente. Notou-se que a maioria dos participantes da primeira escola demonstrou conhecer as grandezas derivadas do Sistema Internacional de Unidades, ao passo que, na segunda escola, menos da metade dos participantes demonstrou conhecer essas grandezas. Diante dos resultados, concluiu-se que, no CEM CEJOL, a maioria dos participantes demonstrou desconhecer as grandezas derivadas do Sistema Internacional de Unidades.

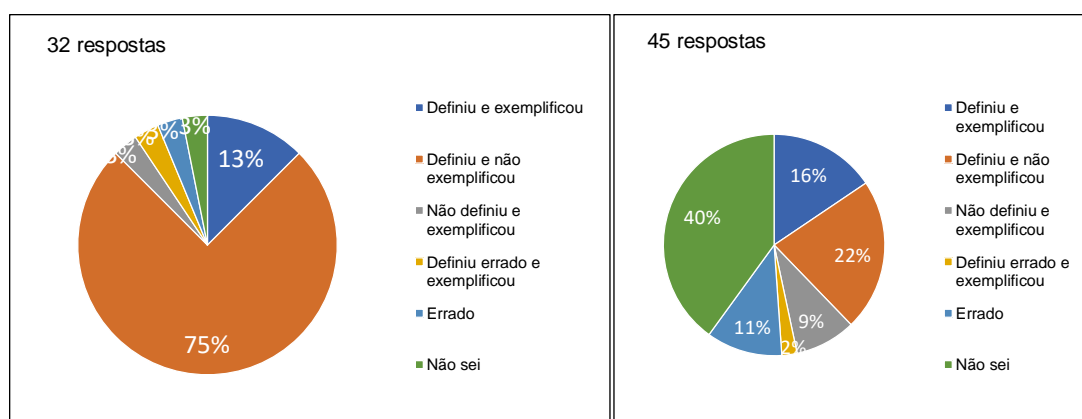
Comparando-se os resultados dos gráficos 03 e 13, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 23**, apresentado a seguir:

Gráfico 23: Comparação dos dados da questão 03 – Dayse Galvão/CEJOL

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

De acordo com o Gráfico 23, pôde-se notar que 62,5% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à pergunta formulada, enquanto 62,2% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente. Observou-se que, em ambas as escolas pesquisadas, mais da metade dos participantes responderam corretamente à pergunta formulada. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, em ambas as escolas, a maioria dos participantes demonstrou conhecer a forma correta de grafar os símbolos das unidades de comprimento, massa e tempo do Sistema Internacional.

Comparando-se os resultados dos gráficos 04 e 14, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 24**, apresentado a seguir:

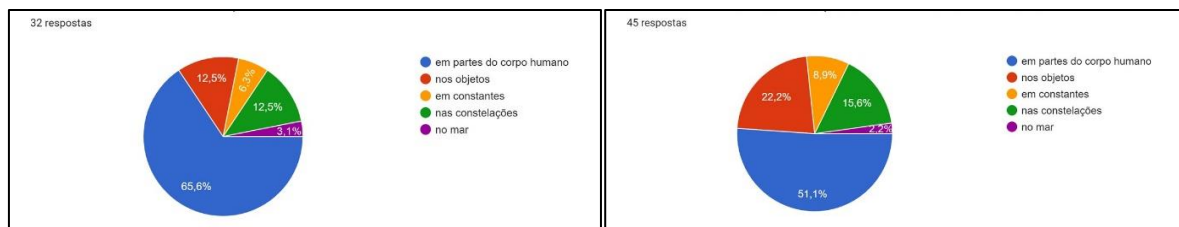
Gráfico 24: Comparação dos dados da questão 04 – Dayse Galvão/CEJOL

Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

Segundo o Gráfico 24, verificou-se que 13% dos participantes do CEM Dayse Galvão conseguiram responder corretamente à pergunta formulada, enquanto 16% dos participantes do CEM CEJOL também conseguiram responder corretamente à mesma pergunta. Pôde-se analisar que, em ambas as escolas pesquisadas, poucos participantes responderam corretamente à pergunta formulada. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, em ambas as escolas, a maioria dos participantes demonstrou desconhecer o que é uma grandeza adimensional.

Comparando-se os resultados dos gráficos 05 e 15, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 25**, apresentado a seguir:

Gráfico 25: Comparação dos dados da questão 05 – Dayse Galvão/CEJOL



Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

Conforme o Gráfico 25, notou-se que 65,6% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à pergunta formulada, enquanto 51,1% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente. Observou-se que, em ambas as escolas pesquisadas, mais da metade dos participantes responderam corretamente à pergunta formulada. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, em ambas as escolas, a maioria dos participantes demonstrou conhecer a necessidade que os povos tiveram de utilizar medidas baseadas em partes do corpo humano ao longo do processo histórico da humanidade.

Comparando-se os resultados dos gráficos 06 e 16, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 26**, apresentado a seguir:

Gráfico 26: Comparação dos dados da questão 06 – Dayse Galvão/CEJOL



Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

De acordo com o Gráfico 26, observou-se que 71,8% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à pergunta formulada, enquanto 62,2% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente à mesma pergunta. Verificou-se que, em ambas as escolas pesquisadas, mais da metade dos participantes responderam corretamente à questão. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, em ambas as escolas, a maioria dos participantes demonstrou conhecer a utilização da jarda como medida de comprimento em alguns países, como, por exemplo, a Inglaterra e os Estados Unidos da América.

Comparando-se os resultados dos gráficos 07 e 17, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 27**, apresentado a seguir:

Gráfico 27: Comparação dos dados da questão 07 – Dayse Galvão/CEJOL



Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

Consoante o Gráfico 27, notou-se que 59,4% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à questão formulada, enquanto 64,4% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente. Foi possível observar que, em ambas as escolas pesquisadas, mais da metade dos participantes responderam corretamente à pergunta. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, em ambas as escolas, a maioria dos participantes demonstrou conhecer que o Sistema Métrico foi instituído no período da Revolução Francesa.

Comparando-se os resultados dos gráficos 08 e 18, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 28**, apresentado a seguir:

Gráfico 28: Comparação dos dados da questão 08 – Dayse Galvão/CEJOL

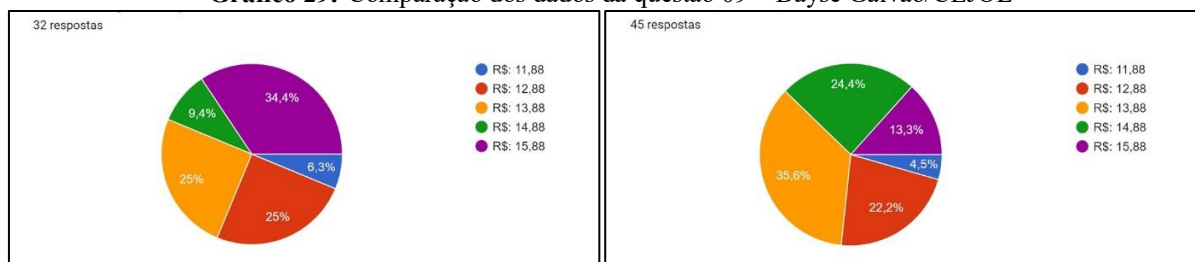


Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

Segundo o Gráfico 28, foi possível observar que 40,6% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à pergunta formulada, enquanto 44,4% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente à mesma pergunta. Notou-se que, em ambas as escolas pesquisadas, menos da metade dos participantes responderam corretamente à questão, apesar de o CEM CEJOL ter apresentado maior percentual de acertos, em relação ao CEM Dayse Galvão. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, em ambas as escolas, a maioria dos participantes demonstrou não conseguir relacionar o consumo de energia elétrica com a potência do equipamento e o tempo em que este permanece em funcionamento.

Comparando-se os resultados dos gráficos 09 e 19, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 29**, apresentado a seguir:

Gráfico 29: Comparação dos dados da questão 09 – Dayse Galvão/CEJOL

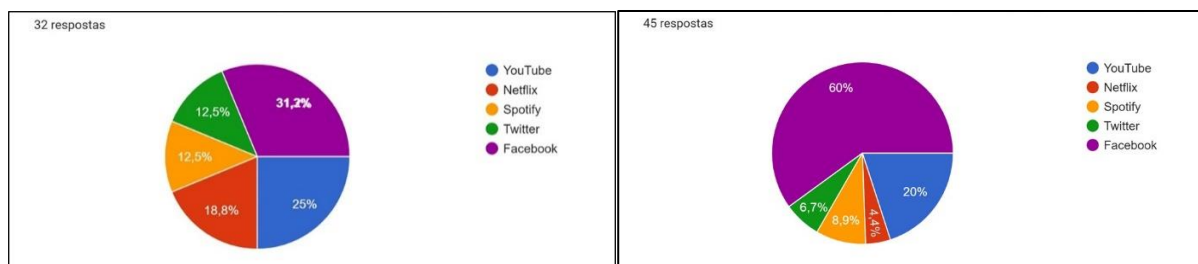


Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

Conforme o Gráfico 29, verificou-se que 9,4% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à questão formulada, enquanto 24,4% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente. Foi possível constatar que, em ambas as escolas pesquisadas, menos da metade dos participantes responderam corretamente à pergunta, apesar de o CEM CEJOL ter apresentado maior percentual de acertos, em relação ao CEM Dayse Galvão. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, em ambas as escolas, a maioria dos participantes demonstrou não conseguir relacionar o consumo de energia elétrica com a tarifa local, durante determinado período.

Comparando-se os resultados dos gráficos 10 e 20, representativos do CEM Dayse Galvão de Sousa e do CEM CEJOL, tem-se o **Gráfico 30**, apresentado a seguir:

Gráfico 30: Comparação dos dados da questão 10 – Dayse Galvão/CEJOL



Fonte: Produzido pelo Autor, 2020-2021

De acordo com o Gráfico 30, observou-se que 31,2% dos participantes do CEM Dayse Galvão responderam corretamente à pergunta formulada, enquanto 60% dos participantes do CEM CEJOL também responderam corretamente à mesma pergunta. Notou-se que a maioria dos participantes da segunda escola demonstrou saber relacionar o consumo de dados ao tempo de uso de canais/aplicativos de internet, ao passo que, na primeira escola, menos da metade dos participantes demonstrou conhecer essa relação. Diante dos resultados,

concluiu-se que, no CEM Dayse Galvão, a maioria dos participantes demonstrou não saber relacionar o consumo de dados ao tempo de uso de canais/aplicativos de internet.

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa procurou demonstrar que a Física pode ser reconhecida como uma ciência de precisão, apresentando estreita ligação com a Metrologia, já que, a partir dessas duas áreas do conhecimento, é possível chegar ao aprimoramento teórico, no que diz respeito à compreensão da Ciência e ao desenvolvimento de novas tecnologias, alcançadas graças a medidas mais precisas e com menor incerteza, obtidas com métodos, equipamentos e estudos criteriosos.

Sabe-se que o SI, usado em quase todos os países, tenta aperfeiçoar a definição das grandezas, tendo por referencial constantes da natureza. Esse sistema é importante por garantir a uniformização das unidades de medida nas mais diversas situações do cotidiano, seja nas relações comerciais, seja no contexto político-econômico, seja no campo científico-tecnológico. Essa importância foi notada pelos participantes da pesquisa, que conseguiram compreender que o SI é baseado em constantes da natureza.

Nesse sentido, a pesquisa pretendeu desenvolver a habilidade de compreensão dos alunos em relação às unidades de medida, baseando-se na TCC de Gérard Vergnaud. Assim, constatou-se que o objetivo geral foi atendido, porque os participantes compreenderam sobre a importância das unidades de medida e de suas definições. Para o processo de ensino-aprendizagem, foi importante considerar o conhecimento prévio dos estudantes, que foi aproveitado pelo pesquisador para a construção do conhecimento, reforçando os postulados básicos da teoria de Vergnaud.

Embora tenham sido alcançados os objetivos da pesquisa, não se pode deixar de mencionar algumas dificuldades encontradas pelo pesquisador. Dentre os obstáculos, merece destaque a pandemia do Covid-19, que provocou alterações significativas no contexto escolar. Devido à pandemia, as aulas presenciais foram suspensas por mais de um ano letivo, os alunos evadiram-se em grande quantidade e o cronograma das atividades escolares foi sensivelmente prejudicado, sofrendo reiteradas alterações. Tal fato teve reflexo, inclusive, na aplicação dos questionários, que deveria ter ocorrido em situação de normalidade escolar, no entanto teve que ser adaptada às mudanças advindas pelo contexto pandêmico.

Apesar das dificuldades encontradas no desenvolvimento da pesquisa, foi positivo perceber que os participantes conseguiram desenvolver habilidades com o uso das unidades do SI, em resolução de exercícios, em conversões de medidas e em situações do cotidiano. Quanto a isso, chamou-se atenção para a necessidade de primeiro saber do que se trata cada

medida, já que "deve-se dar toda atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações para as quais os estudantes desenvolvem seus esquemas, na escola ou fora dela" (1994, p. 58, VERGNAUD apud MOREIRA), pois, pela organização dos campos conceituais, os assuntos relacionam-se e são construídos ao longo do tempo.

No decorrer da pesquisa, percebeu-se que as grandezas e as unidades de medidas são conteúdos pouco explorados em sala de aula; quando são abordados pelos professores, apresentam-se com enfoque bastante superficial. Tanto em sala de aula quanto em livros didáticos, as informações que envolvem importância, contexto histórico dos sistemas de unidade, Metrologia e precisão são escassas. Devido a essa escassez, a disseminação da ciência de precisão, no Ensino Médio, é dificultada, apesar de possuir abordagem ampla. Por isso, torna-se relevante compreender as unidades de medida por meio de ferramentas de aprendizagem que possibilitem aliar ensino e instrumentos didáticos.

Partindo desse pressuposto, foi desenvolvido, nesta pesquisa, um produto educacional, em formato de e-book, com a finalidade de proporcionar aos educandos, de modo dinâmico e interativo, informações valiosas para a aprendizagem de conteúdos relacionados ao estudo da Metrologia e do SI, os quais, geralmente, não são contemplados em livros didáticos tradicionais.

Dessa forma, foi elaborado o e-book intitulado FÍSICA DE PRECISÃO NO ENSINO DE UNIDADES DE MEDIDA: um guia para alunos do Ensino Médio, o qual apresenta um estudo das unidades de medida, destinado à educação básica. O e-book tem por objetivo traçar perspectivas históricas e sociais a respeito das unidades de medida, bem como apresentar importantes caracterizações, principalmente sobre o Sistema Internacional de Unidades. Dessa forma, com esses aspectos e curiosidades, os estudantes terão a oportunidade de explorar a Metrologia e a importância da Física como ciência de precisão, além da associação às novas tecnologias, expandindo o roteiro dos tradicionais livros didáticos e cumprindo as exigências da BNCC.

Assim, a urgência desse ensino também se torna necessária com as novas reformulações presentes na BNCC, considerando a nova fase em que o sistema educacional brasileiro se encontra, decorrente do novo Ensino Médio. Dessa forma, a Base Curricular sugere, dentre outros conteúdos, o ensino da Metrologia no Ensino Médio por meio dos itinerários formativos. As diretrizes para que esses conhecimentos sejam ensinados partem também de outros agentes, como o INMETRO, que percebe o quão essencial é a promoção de informação sobre essa área. Além do mais, percebem-se inúmeras dificuldades apresentadas pelos alunos.

Desse modo, é imprescindível fazer uma conexão entre os assuntos do ensino fundamental e do Ensino Médio. Essa importância é vinculada ao cotidiano do estudante, por meio da conta de energia, do uso de dados da internet, da medição de um ambiente, por exemplo. Assim como no dia a dia, medir é essencial para a ciência. Com isso, o professor deve se atentar aos conhecimentos prévios dos estudantes, já que, apesar de ainda não ser dada a devida importância, é um conteúdo apresentado em sala de aula, percebendo o quanto é um conteúdo interligado a diversas outras disciplinas.

Assim, é importante contemplar uma proposta de ensino para o estudo das unidades de medida em que constem assuntos da Física moderna e quântica, os quais são conteúdos que dão base ao entendimento dos padrões adotados e que devem ser compreendidos pelos alunos não só por fazer parte de uma base curricular, mas também por ser um meio para facilitar o ensino e para gerar o interesse das ciências da natureza. Por isso, deve-se compreender a medição sem esquecer de detalhes como o contexto e os conceitos, valorizando a base teórica, já que isso é essencial ao entendimento e à construção do significado do que é medir, conhecimento que é construído no decorrer da vida estudantil, nos anos iniciais até os últimos anos do Ensino Médio.

Por fim, dada a importância do tema, a amplitude dos conteúdos relacionados à Metrologia e a delimitação da pesquisa, em função do recorte apresentado, considera-se necessário aprofundar o estudo e a discussão presentes neste trabalho, a fim de que sejam contemplados outros aspectos que essa área do conhecimento poderá proporcionar aos pesquisadores e aos educandos. Isso decorre, inevitavelmente, da natureza intrínseca às pesquisas acadêmicas, cujo universo de descobertas se mostra, no mais das vezes, interminável e inconcluso. A cada conhecimento já consolidado devem-se acrescentar outros novos conhecimentos, de tal forma que a construção do saber se torne múltipla e diversificada, contribuindo para a compreensão de um todo significativo.

REFERÊNCIAS

A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS. Disponível em:

<<http://www.univasf.edu.br/~ana.queiroz/html/teoria.html>>. Acesso em: 03 de Fev. de 2021.

ABSOLUTISMO. Dia da Educação. Disponível em:

<<http://www.filosofia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=338&evento=3#:~:text=Absolutismo%20%C3%A9%20uma%20teoria%20pol%C3%ADtica,%C3%A9%2C%20independente%20de%20outro%20%C3%B3rg%C3%A3o.&text=Os%20te%C3%B3ricos%20de%20relevo%20associados,Inglaterra%2C%20Bossuet%20e%20Thomas%20Hobbes>>. Acesso em: 03 de Set. de 2021.

ALDER, Ken. **A MEDIDA DE TODAS AS COISAS: A odisséia de sete anos e o erro encoberto que transformaram o mundo**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2003.

ANP PUBLICA ANÁLISE DE MUDANÇAS NOS PREÇOS DO PETRÓLEO E DE COMBUSTÍVEIS NO ÚLTIMO ANO. Petronotícia. 10 de Set. de 2015. Disponível em:

<<https://petronoticias.com.br/anp-publica-analise-de-mudancas-nos-precos-do-petroleo-e-de-https://away.iol.pt/combustiveis/atualidade/petroleo-afunda-6-61-para-105-14-dolares-por-barril-mas-gasolina-nao-desce/20220315/62305b640cf21a10a42537f4>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

ASSUNÇÃO, Thiago Vicente de. Et al. **O ENSINO DE METROLOGIA NA DISCIPLINA DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA PROPOSTO PELA NOVA BNCC: potenciais dificuldades e desafios**. CONEDU: VII Congresso Nacional de Educação. Editora realize. Maceió, 2020. Disponível em: <

<

https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2020/TRABALHO_EV140_MD1_SAI_ID1067_01102020185357.pdf>. Acesso em: 15 de Out. de 2020.

BARRIL (UNIDADE). Stringfizer. Disponível em: <[https://stringfixer.com/pt/Barrel_\(unit\)](https://stringfixer.com/pt/Barrel_(unit))>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

BIPM. **Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM)**. Disponível em:

<<https://www.bipm.org/en/committees/cipm/>>. Acesso em: 16 de Maio de 2021.

BRASIL. Rev. da SBHC, n. 18, p.03-16, 1997. Disponível em: <

https://www.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=190>. Acesso em: 10 de Ago. de 2020.

BRASILEIROS SÃO OS QUE MAIS ACESSAM APLICATIVOS NO MUNDO. Diário Popular. 05 de Março de 2022. Disponível em:

<[https://www.diariopopular.com.br/tecnologia/brasileiros-sao-os-que-mais-acessam-aplicativos-no-mundo-162868/#:~:text=Confira%20abaixo%20a%20lista%20dos,Facebook%20\(41%25\)](https://www.diariopopular.com.br/tecnologia/brasileiros-sao-os-que-mais-acessam-aplicativos-no-mundo-162868/#:~:text=Confira%20abaixo%20a%20lista%20dos,Facebook%20(41%25))>. Acesso em: 14 de Abr. de 2022.

BRAZ, Leticia de Lima; Et Al. **Topografia: Cálculo de Área através da Triangulação**. Faculdade Evangélica de Goianéia. Disponível em:

<<http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/cifaeg/article/view/862#:~:text=Segundo%20o%20site%20Ebah%2C%20o,lados%20de%20medidas%20j%C3%A1%20conhecidas.&text=O>>

%20programa%20desenvolve%20c%C3%A1lculos%20atrav%C3%A9s,triangula%C3%A7%C3%A3o%20muito%20utilizado%20na%20Topografia>. Acesso em: 16 de Out. de 2021.

CALIBRAGEM IDEAL DE PNEU, SAIBA MAIS. Drcar. Disponível em: <<https://drcar.com.br/calibragem-ideal-de-pneu-saiba-mais/>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

CALVACANTI, Maria Clara. **TOYOTISMO**. Quero Bolsa. 28 de Ago. de 2008. Disponível em: <<https://querobolsa.com.br/enem/geografia/toyotismo#:~:text=O%20sistema%20levou%20esse%20nome,partir%20da%20demanda%20de%20consumo>>. Acesso em: 03 de Set. de 2021.

CANAL METROLOGIA. Metrologia Quântica na Redefinição do Ampere. 19 de Maio de 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/NpU68l-2JDk>>. Acesso em: 27 de Jul. de 2020.

CANAL METROLOGIA. Mudanças na Candela para o novo SI. 19 de Maio de 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/AwpKhfliYXI>>. Acesso em: 30 de Jun. de 2020.

CANAL METROLOGIA. Mudanças no Metro para Revisão do SI. 15 de Maio de 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/c9d1bFGBaUE>>. Acesso em: 30 de Jul. 2020.

CANAL METROLOGIA. O Fim do Sistema Imperial dos USA. 23 DE Nov. de 2017. Disponível em: <<https://youtu.be/P5QQ-ACXN-g>>. Acesso em: 01 de Ago. de 2021.

CANAL METROLOGIA. O metro padrão foi definido errado! | História do Metro – Parte 3. 31 de Out. de 2019. Disponível em: <<https://youtu.be/4jCP6gyluDM>>. Acesso em: 02 de Jul. de 2020.

CANAL METROLOGIA. O Segundo do Novo SI. 17 de Maio de 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/wq6gUL0F-PQ>>. Acesso em: 28 de Jun. de 2020.

CANAL METROLOGIA. Porque decidiram criar o Sistema Métrico? | História do Metro – Parte 1. 20 de Maio de 2019. Disponível em: <<https://youtu.be/Oadc7-0Ykb8>>. Acesso em: 01 de Jul. de 2020.

CANAL METROLOGIA. Redefinição de Kelvin. 16 de Maio de 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/CFYokrzCQis>>. Acesso em: 28 de Jun. de 2020.

CANAL METROLOGIA. Redefinição de Kilograma. 20 de Maio de 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/DW1aTNoq6dI>>. Acesso em: 20 de Maio de 2020.

CANAL METROLOGIA. Redefinição do Mol e a Constante de Avogadro. 14 de Maio de 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/N8iQ36x80Ec>>. Acesso em: 25 de Ago. de 2021.

CARTA MAGNA. Toda Matéria. Disponível em: <<https://g.co/kgs/HABoSi>>. Acesso em: 10 de Dez. de 2020.

CARVALHO JR., Gabriel Dias de; AGUIAR JR. **OS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD COMO FERRAMENTA PARA O PLANEJAMENTO DIDÁTICO**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 25, n. 2: p.207-227, Ago. 2008. Disponível em:

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n2p207/5632>>. Acesso em: 20 de Mar. de 2020.

CEDRAN, D. P.; KIOURANIS, N. M. M. **Teoria dos Campos Conceituais: visitando seus principais fundamentos e perspectivas para o ensino de ciências**. ACTIO, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 63-86, jan./abr. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/actio/article/download/7709/6089>>. Acesso em: 10 de Out. de 2021.

CGPM - GENERAL CONFERENCE ON WEIGHTS AND MEASURES. **Résolutions de la Conférence générale des poids et mesures (27^e réunion)**. BIPM. 15-18 novembre 2022. Disponível em: <<https://www.bipm.org/en/cgpm-2022>>. Acesso em: 10 de Jan. de 2023.

CIENTISTAS ANUNCIAM MEDIÇÃO MAIS PRECISA DA MASSA DO BÓSON W; ENTENDA. Revista Galileu. 10 de Mar. De 2022. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2022/04/cientistas-anunciam-medicao-mais-precisa-da-massa-do-boson-w-entenda.html>>. Acesso em: 17 de Abr. de 2022.

CODATA – International Science Coucil. **CODATA Task Groups 2021 – 2023**. Disponível em: <<https://codata.org/initiatives/task-groups/>>. Acesso em: 20 de Jun. de 2021.

COMO CALCULAR E DESCOBRIR A TAXA DE TRANSFERENCIA DE SUA PRECISÃO: A Medida de Todas as Coisas. Sciencedochd. Disponível em: <<https://sciencedochd.blogspot.com/201>>. Acesso em: 10 de Jul. de 2021.

CONCEITO DE METROLOGIA. CICMAC/INMETRO. Porto Alegre. Disponível em: <http://www.inmetro.rs.gov.br/cicmac/material_didatico/polig_conceito_metrologia.pdf>. Acesso em: 30 de Nov. de 2021.

CONEXÃO. Site Sistema. 20 de Dez. 2018. Disponível em: <<https://sitesistema.com/blog/como-calcular-e-descobrir-a-taxa-de-transferencia-de-sua-conexao>>. Acesso em: 01 de Jul. de 2021.

CONFERÊNCIA GERAL DE PESOS E MEDIDAS - CGPM. GOV.BR - INMETRO. 26 de Ago. de 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/metrologia-cientifica/foruns-comites-e-redes/conferencia-geral-de-pesos-e-medidas-2013-cgpm>>. Acesso em: 28 de Jun. de 2021.

CONFERÊNCIA GERAL DE PESOS E MEDIDAS – CGPM. Metrologia Científica. Disponível em: <<http://infoconsumo.gov.br/metcientifica/comites/cgpm.asp?iacao=imprimir>>. Acesso em: 26 de Jun. de 2021.

CONFERÊNCIA GERAL DE PESOS E MEDIDAS. WIKIPÉDIA – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Confer%C3%A0ncia_Geral_de_Pesos_e_Medidas>. Acesso em: 29 de Jun. de 2021.

CONFERÊNCIA GERAL SOBRE PESOS E MEDIDAS – GENERAL CONFERENCE ON WEIGHTS AND MEASURES CONFERÊNCIA GERAL SOBRE PESOS E MEDIDAS. WIKI. Disponível em:

<https://pt.abcdef.wiki/wiki/General_Conference_on_Weights_and_Measures>. Acesso em: 18 de Ago. de 2021.

CONSTANTE DE PLANCK. Toda matéria. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/constante-de-planck/>>. Acesso em: 21 de Jun. de 2020.

COPO CERVEJA PINT 473ML. Indupropil. Disponível em: <<https://www.indupropil.com.br/copo-cerveja-stout-473ml.html>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

CREASE, Robert P. **A MEDIDA DO MUNDO: A busca por um sistema universal de pesos e medidas**. ZAHAR, 2013.

DAMACENO, Luiz Paulo; Et Al. **A NOVA DEFINIÇÃO DO QUILOGRAMA EM TERMOS DA CONSTANTE DE PLANCK**. SCIELO. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 41, nº 3, e20180248, 2019. Disponível em: <www.scielo.br/rbef>. Acesso em: 20 de Abr. de 2020.

DIA MUNDIAL DA METROLOGIA. Wikipédia – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Dia_Mundial_do_Meteorologista#:~:text=A%20data%20de%2023%20de,23%20de%20mar%C3%A7o%20de%201950>. Acesso em: 20 de Maio de 2021.

E HAJA UNIDADES DE MEDIDA! – ATIVIDADE 2. Clubes de Matemática da OBMEP. Disponível em: <<http://clubes.obmep.org.br/blog/e-haja-unidades-de-medidas-atividade-2/>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

EFEITO HALL QUÂNTICO. Wikipédia – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Hall_qu%C3%A2ntico>. Acesso em: 30 de Nov. de 2021.

EFEITO JOSEPHSON. Wikipédia – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Josephson#:~:text=O%20efeito%20Josephson%20%C3%A9%20um,uma%20barreira%20isolante%20muito%20fina>. Acesso em: 30 de Nov. de 2021.

ELERBROCK, Rafael. Lei de Ohm. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-lei-ohm>>. Acesso em: 20 de Nov. de 2021.

EXPLICATORIUM. **Constantes Fundamentais: como se definem?** Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/fisica/constantes-fundamentais.html>>. Acesso em: 15 de Jun. de 2020.

FÁBRICAS E O TEMPO DO RELÓGIO. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/historiageral/fabricas-tempo-relogio.htm>>. Acesso em: 10 de Jul. de 2021.

FERRAMENTA PARA O PLANEJAMENTO DIDÁTICO. Cad. Bras. Ens. Fis., v. 25, n. 2: p. 207-227, ago. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165581.pdf>>. Acesso em: 30 de Jun. de 2020.

FÍSICA. UOL. Disponível em: <<https://vestibular.uol.com.br/resumo-das-disciplinas/fisica/celeritas-representa-a-velocidade-da-luz-no-vacuio.htm?cmpid=copiaecola>>. Acesso em: 02 de Jul. de 2021.

FORDISMO: o que é, como funciona e principais características. Capital Now. Disponível em: <<https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/fordismo/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20Fordismo,d%C3%A9%20de%201920%20e%201970>>. Acesso em 03 de Set. de 2021.

FUNDAMENTOS DA METROLOGIA E DA NORMALIZAÇÃO. MAXWELL. PUC Rio. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/6654/6654_3.PDF>. Acesso em: 27 de Set. de 2020.

GALÃO. Stringfizer. Disponível em: <https://stringfixer.com/pt/US_gallon>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

GERARD. UNIVASF. Disponível em: <<http://www.univasf.edu.br/~ana.queiroz/html/index.html>>. Acesso em: 14 de Abr. de 2022.

GHOSH, Pallab. **A descoberta que pode desencadear 'maior revolução na física desde as teorias de einstein'**. BBC. 8 de Abr. 2022. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/geral-61012896?at_campaign=64&at_custom3=BBC+Brasil&at_medium=custom7&at_custom1=%5Bpost+type%5D&at_custom2=facebook_page&at_custom4=6E58269C-B9E2-11EC-9D79-B3D396E8478F&fbclid=IwAR186sDgeTybtLJr18ICnrqH58Rers04ZutlLzDAEkDpXD-CNDWKYkwIh7g>. Acesso em: 17 de Abr. de 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. GODOI, Lidiany C. de O.; DE MENDONÇA FIGUEIRÔA, Silvia Fernanda. Dois pesos e duas medidas: uma proposta para discutir a natureza do sistema de unidades de medida na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 2008, 25.3: 425-523.

GOMES, Helton Simões. **Como vai ficar a Medição de Kilo no Brasil?**. Tilt Uol. 21 de Maio de 2019. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/tilt/ultimas-noticias/redacao/2019/05/21/como-vai-ficar-a-medicao-do-quilo-no-brasil.htm>>. Acesso em 17 de Out. de 2021.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. Vol. 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HISTORY OF THE SI. BIPM. Disponível em: <<https://www.bipm.org/en/measurement-units/history-si/>>. Acesso em 20 de Jul. de 2020.

HISTORY OF THE SI. BIPM. Disponível em: <<https://www.bipm.org/en/measurement-units/history-si/>>. Acesso em: 05 de Ago. de 2021.

ID. RESOLUTION 10 OF THE 22ND MEETING OF THE CGPM (2003). Bureau International des Poids et Mesures. Disponível em:

<<http://www1.bipm.org/jsp/en/ViewCGPMResolution.jsp?CGPM=22&RES=10>>. Acesso em: 28 de Dez. de 2019.

IMPÉRIO DO BRASIL. Wikipédia – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <<https://g.co/kgs/mNBsu1>>. Acesso em: 05 de Dez. de 2020.

INDYCAR SERIES. Wikiward. Disponível em: <https://www.wikiwand.com/pt/IndyCar_Series>. Acesso em: 15 de Abr. de 2022.

INMETRO. **Articulação Internacional**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/organismosRelacionados.asp>>. Acesso em: 20 de Jan. de 2022.

INMETRO. **SI – Sistema de Internacional de Unidades**. GOV.BR. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos-em-metrologia/si_versao_final.pdf>. Acesso em: 20 de Nov. de 2020.

INMETRO. **SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI): Tradução Luso-brasileira da 9ª Edição**. IPQ.PT. Disponível em: <http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Documents/Traducao_luso_brasileira_2021_SI.pdf>. Acesso em: 10 de Out. de 2021.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **O que são os raios X?**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-os-raios-x.htm>>. Acesso em: 28 de Dez. de 2020.

KATHERINE JOHNSON, MATEMÁTICA NEGRA QUE AJUDOU A NASA A IR PARA A LUA, MORRE AOS 101 ANOS. G1. 24 de Fev. de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2020/02/24/katherine-johnson-matematica-negra-que-ajudou-a-nasa-a-ir-para-a-lua-morre-aos-101-anos.ghtml>>. Acesso em: 24 de Jun. de 2020.

LIBRA (FORÇA). Stringfixer. Disponível em: <<https://stringfixer.com/pt/Pound-force>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

LIBRA (MASSA). Stringfizer. Disponível em: <[https://stringfixer.com/pt/Pound\(mass\)](https://stringfixer.com/pt/Pound(mass))>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

LIMA, Viviane de Oliveira. **Revoltas dos Quebra-Quilos. Levantes contra a imposição do Sistema Métrico Decimal**. XV ENCONTRO REGIONAL DE HISTÓRIA DA ANPUD-RIO. ENCONTRO 2021. Disponível em: <https://www.encontro2012.rj.anpuh.org/resources/anais/15/1338335004_ARQUIVO_ANPUH_Revoltas-Textofinal.pdf>. Acesso em: 26 de Nov. de 2020.

MACIEL, Marco Aurélio Diniz. **A NOVA DEFINIÇÃO DO KILOGRAMA NO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES SI**. Instituto de Pesos e Medida do estado do Paraná. Disponível em: <https://www.ipem.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/migrados/File/producao_cient>

ifica/marco_aurelio_diniz_macial_nova_dedicao_quilograma.pdf>. Acesso em: 28 de Nov. de 2020.

MAGINA, Sandra Maria Pinto; SANTOS, Aparecido dos; MERLINI, Vera Lucia. **O raciocínio de estudantes do Ensino Fundamental na resolução de situações das estruturas multiplicativas.** *Ciênc. educ. (Bauru)*, Bauru, v. 20, n. 2, p. 517-533, 2014. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151673132014000200517lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 13 de Abr. de 2022.

MARTIN-DELGADO, Miguel A. **The new SI and the fundamental constants of nature.** *DOI.BR. Eur. J. Phys.* **41** (2020) 063003 (31pp), 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1361-6404/abab5e>>. Acesso em 12 de Nov. de 2020.

MEDIÇÃO DA MASSA DO BÓSON W CONTESTA PREVISÕES DA FÍSICA. *Inovação Tecnológica*. 11 de Abr. de 2022. Disponível em: <<https://www.inovaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=medicao-massa-boson-w-contesta-previsoes-fisica&id=010130220411#.YlxbE-jMLIU>>. Acesso em: 17 de Abr. de 2022.

MEDIDAS FÍSICAS E OS APARELHOS DE MEDIDA. *UFJF.BR*. Disponível em: <https://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/01_Pratica1.pdf>. Acesso em: 10 de Nov. de 2020.

MEDIDAS IMPERIAIS – SISTEMA IMPERIAL BRITÂNICO. *Guriinlondon*. Disponível em: <<https://guriinlondon.com/medidas-imperiais/>>. Acesso em: 03 de Ago. de 2021.

MERIDIANO. Wikipédia – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Meridiano>>. Acesso em: 20 de Maio de 2022.

METROLOGIA: Materiais Didáticos. IPQ. Disponível em: <<http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Materiais%20Didaticos/Corrente%20El%C3%A9trica%20-%20grandeza%20de%20base%20do%20SI%20cuja%20unidade%20%C3%A9%20o%20ampere.pdf>>. Acesso em: 30 de Maio de 2022.

MODELO PADRÃO. Wikipédia – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_Padr%C3%A3o>. Acesso em: 03 de Nov. de 2022.

MOREIRA, Ildeu de Castro. **A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA MÉTRICO DECIMAL NO BRASIL.** *DOCPLAY*. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/47629089-A-implantacao-do-sistema-metrico-decimal-no-brasil-ildeu-de-castro-moreira-instituto-de-fisica-ufjf-e-hcte.html>>. Acesso em: 21 de Maio de 2020.

MOREIRA, Ildeu de Castro; MASSARARI, Luisa. **CÂNDIDO BATISTA DE OLIVEIRA E SEU PAPEL NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA MÉTRICO DECIMAL NO BRASIL.** *Rev. da SBHC*, n. 18, p.03-16, 1997. Disponível em: <https://www.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=190>. Acesso em: 10 de Ago. de 2020.

MOREIRA, Marco Antonio. **A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD, O ENSINO DE CIÊNCIAS E A PESQUISA NESTA ÁREA.** Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2002. Disponível em: <[https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/141212/000375268.pdf?sequence](https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/141212/000375268.pdf?sequence=)>. Acesso em: 20 de Jun. de 2020.

MOREIRA, Marco Antonio. **A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD, O ENSINO DE CIÊNCIAS E A PESQUISA NESTA ÁREA.** Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre: 2002. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/141212/000375268.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 de Maio de 2020.

NETO, Onirio. **Que Medida é Essa? Entenda As Diferentes Unidades de Medida Usadas Pelo Mundo.** 28 de Fev. de 2020. Disponível em: <<https://www.languagetainersbrasil.com.br/blog/que-medida-e-essa-entenda-as-diferentes-unidades-de-medidas-usadas-pelo-mundo/>>. Acesso em: 15 de Abr. de 2022.

O QUE SÃO CONSTANTES FÍSICAS FUNDAMENTAIS. Natureza da Física. Disponível em: <<https://naturezadafisica.com/2015/01/31/o-que-sao-constantas-fisicas-fundamentais/>>. Acesso em: 20 de Nov. de 2021.

ONÇA (MASSA) Wikipédia. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/On%C3%A7a_\(massa\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/On%C3%A7a_(massa))>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

ONÇA FLUIDA. Stringfixer. Disponível em: <<https://stringfixer.com/pt/Fluidounce>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

ONÇA. Stringfizer. Disponível em: <<https://stringfixer.com/pt/Ounces>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

ORGANISMOS RELACIONADOS ÀS BARREIRAS TÉCNICAS. INMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/organismosRelacionados.asp>>. Acesso em 18 de Jul. de 2021.

ORIGENS NT. **Constantes Universais/Astronomia #7.** Youtube. 11 de Jun de 2016. Disponível em: <<http://www.mundodametrologia.com.br/2015/10/constantas-fundamentais-da-fisica-sao.html>>. Acesso em: 15 de Maio de 2021.

PARA MANTER O PESO. Pesquisa FAPESP. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/para-manter-o-peso/>>. Acesso em: 10 de Jan. de 2022.

PESOS E MEDIDADA EM INGLES: units of measuekent. Uniflux. Disponível em: <<https://blog.influx.com.br/pesos-e-medidas-em-ingles-units-of-measurement>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

PESOS E MEDIDAS: As dimensões do Metro. Super Interessante. 31 de Ago. de 1989 atualizado em 31 de Out. de 2016. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/historia/p>>. Acesso em: 12 de Jul. de 2021.

PINTO, Tales dos Santos. **O que é Neolítico?**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/historia/o-que-e-neolitico.htm>>. Acesso em 28 de Dez. de 2020.

PINTO, Tales dos Santos. **O que é Paleolítico?**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/historia/o-que-e-paleolitico.htm>>. Acesso em 28 de Dez. de 2020.

PONTO TRIPLO DA ÁGUA. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ponto-triplo-da-agua.htm#:~:text=O%20ponto%20triplo%20da%20%C3%A1gua,gasoso%20coexistem%20em%20equil%C3%ADbrio%20termodin%C3%A2mico.&text=O%20ponto%20triplo%20da%20%C3%A1gua%20pura%20%C3%A9%20atingido%20a%20uma,%C3%A0%20press%C3%A3o%20de%20611%20Pa.>>. Acesso em: 30 de Nov. de 2021.

POZEBON, Simone; Lopes, Anemari Roesler Luersen Vieira. **GRANDEZAS E MEDIDAS: surgimento histórico e contexto curricular**. VI Congresso Internacional de Ensino da Matemática. Rio Grande do Sul: ULBRA, 2013. Disponível em: <<http://www.conferencias.ulbra.br/index.php/ciem/vi/paper/viewFile/971/908>>. Acesso em: 20 de Ago. de 2022.

PROFESSOR TIAGO. **Física quântica #1: Como surgiu a mecânica quântica? (A constante de Planck) |Quantum mechanics|**. 15 de Fev. de 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ObD4nc5BYiQ&t=1s>>. Acesso em: 20 Jun. de 2020.

PSI (UNIDADE DE MEDIDA). Wikipédia - A Enciclopédia Livre. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Psi_\(unidade_de_medida\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Psi_(unidade_de_medida))>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

QUAL A DIFERENÇA NA COBERTURA DAS REDE 3G, 4G E 5G?. Mobile Time. 11 de Set. de 2019. Disponível em: <<https://www.mobiletime.com.br/artigos/11/09/2019/qual-a-diferenca-na-cobertura-das-rede-3g-4g-e-5g/#:~:text=Cada%20gera%C3%A7%C3%A3o%20fornece%20mais%20dados,5G%20em%200at%C3%A9%2095%20GHz>>. Acesso em: 30 de Jun. de 2020.

RAMOS, Ademilson. **Sistema imperial de medição é o pior. Por quê?**. Engenharia. Disponível em: <<https://engenhariae.com.br/curiosidades/sistema-imperial-de-medicao-e-o-piorpor-que>>. Acesso em: 20 de Jan. de 2020.

RERIEVERTON, Robson. **Saiba quantos metros equivale um pé**. Estudo Prático. Disponível em: <<https://www.estudopratico.com.br/saiba-quantos-metros-equivale-um-pe/>>. Acesso em: 16 de Abr. de 2022.

RESOLUTION 7 OF THE 9TH MEETING OF THE CGPM (1948). Bureau International des Poids et Mesures. Disponível em: <<http://www1.bipm.org/jsp/en/ViewCGPMResolution.jsp?CGPM=9&RES=7>>. Acesso em: 28 de Dez. de 2019.

REVOLUÇÃO AGRÍCOLA. Toda Matéria. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/revoluçãogrícola/#:~:text=A%20revolu%C3%A7%C3%A>>

3o%20agr%C3%ADcola%20foi%20um,anos%20a.C.%2C%20no%20per%C3%ADodo%20n eol%C3%ADtico>. Acesso em: 30 de Abr. de 2022.

REZENDE JUNIOR, Mikael Frank; CUSTÓDIO, José Francisco. **A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD: CONSIDERAÇÕES PARA PROPOSTAS DE INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO.** IV ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. FEP.IF.USP. Disponível em: <<https://fep.if.usp.br/~profis%20/arquivo/encontros/enpec/ivenpec/Arquivos/Painel/PNL043.pdf>>. Acesso em: 20 de Jun. de 2020.

ROTONDO, MÁRCIO LEANDRO. **Uma sequência didática para abordar o Sistema Internacional de Unidades.** Dissertação de Mestrado, UFUB, Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, 2021. Disponível em: <https://aplicacoes.ifs.edu.br/periodicos/caminhos_da_educacao_matematica/article/view/1148/811>. Acesso em: 10 de Maio de 2021.

ROYAL SOCIETY. Wikipédia – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Royal_Society>. Acesso em: 02 de Dez. de 2021.

SANTANA, Eurivalda; ALVES, Alex Andrade; NÚNES, Célia Barros. **A Teoria dos Campos Conceituais num Processo de Formação Continuada de Professores.** Rio Claro: UNESP, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-636X2015000301162#:~:text=A%20Teoria%20dos%20Campos%20Conceituais%20visa%20fornecer%20quadros%20e%20alguns,de%20compet%C3%AAs%20complexas%20dos%20estudantes>. Acesso em: 10 de Maio de 2020.

SCHLAMMINGER, Stephan; HADDAD, Darine. **The Kibble balance and the kilogram.** ScienceDirect. NIST, 100 Bureau Drive, Gaithersburg, MD 20899, USA. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1631070518301336?token=DA120862C95E06E539EDA957183F69055BC7D5480472D628ECC5CF6536033EAAEDB0764D09776998A1D97F9A1CA21F7B&originRegion=us-east-1&originCreation=20230126134525>>. Acesso em: 20 de Maio de 2020.

SILVA, Daniel Neves. **Primeiro Reinado.** Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiab/primeiro-reinado.htm>>. Acesso em: 05 de Dez. de 2021.

SILVA, Daniel Neves. **Revolução Francesa.** Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiag/revolucao-francesa.htm>>. Acesso em: 20 de Dez. de 2021.

SILVA, Daniel Neves. **Segundo Reinado.** Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiab/segundo-reinado.htm>>. Acesso em: 06 de Dez. de 2022.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. **Teoria cinética dos gases.** Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/teoria-cinetica-dos-gases.htm>>. Acesso em: 28 de Dez. de 2020.

SILVA, Marcos Noé Pedro da. **Polegadas**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/matematica/polegadas.htm>>. Acesso em: 15 de Abr. de 2022.

SIMPSON, John A. Foundations of Metrology. JOURNAL OF RESEARCH of the National Bureau of Standards. Vol. 86, No.3, May-June 1981, January 7, 1981. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/086/jresv86n3p281_A1b.pdf>. Acesso em: 26 de Set. de 2020.

SISTEMA DE NUMERAÇÃO DECIMAL. Uol. Disponível em: <<https://escolakids.uol.com.br/matematica/sistema-de-numeracao-decimal.htm>>. Acesso em: 12 de Out. de 2021.

SOUSA, Rafaela. **Taylorismo**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/taylorismo-fordismo.htm>>. Acesso em: 28 de Dez. de 2020.

SPEEDTEST. Disponível em: <<http://www.speedtest.net/>>. Acesso em: 20 de Set. de 2022.

STRANGER PHYSICS. A História das Unidades de Medidas. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=SfnsLShCofw>>. Acesso em: 20 de Out. de 2021.

TEORIA COGNITIVA DE PIAGET. WIKIPÉDIA – A Enciclopédia Livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_cognitiva>. Acesso em: 15 de Out. de 2021.

THE BIPM IS... BIPM. Disponível em: <<https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/>>. Acesso em: 23 de Jul. de 2020.

THE BIPM IS...Bureau International des Poids et Mesures - BIPM. Disponível em: <<https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/>>. Acesso em: 25 de Jun. de 2021.

TOTALITARISMO. História do Mundo. Disponível em: <<https://www.historiadomundo.com.br/idade-contemporanea/totalitarismo.htm>>. Acesso em: 01 de Dez. de 2021.

UFPR. **Ludwig Boltzmann**. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/thermo/boltz.html>>. Acesso em: 22 de Jun. de 2021.

UM OLHAR SOBRE O SISTEMA IMPERIAL E DE UNIDADES USAIS DOS USA DE PESOS E MEDIDAS. Convert-me.COM. Disponível em: <https://www.convert-me.com/pt/Imperial_and_US_Customary_Systems_Of_Weights_And_Measures.html>. Acesso em: 27 de Jul. de 2021.

UNIDADE DE MEDIDA AO LONGO DA HISTÓRIA. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/matematica/unidades-medida-ao-longo-historia.htm>>. Acesso em: 15 de Abr. de 2022.

UNIDADE INGLESA. Wikipédia – Enciclopédia Livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Unidade_inglesa>. Acesso em: 21 de Maio de 2021.

UNIDADE INGLESA. Wikipédia – Enciclopédia Livre. Disponível em:
<https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Unidade_inglesa#:~:text=Unidade%20inglesa%20ou%20medida%20imperial,alterando%20algumas%20das%20suas%20defini%C3%A7%C3%B5es>.
Acesso em: 24 de Jul. de 2021.

UNIDADE SI - Candela (cd). NPL. Disponível em: <<https://www.npl.co.uk/si-units/candela>>.
Acesso em: 01 de Set. de 2021.

UNIDADES DE MEDIDA INGLESAS. Só matemática. Disponível em:
<<https://www.somatematica.com.br/curiosidades/c126.php>>. Acesso em: 12 de Nov. de 2021.

VERGNAUD, Gérard. **A criança, a matemática e a realidade: problemas do ensino da matemática na escola elementar**. 3ª. ed. Curitiba: UFPR, v. I, 2014.

VERGNAUD, Gérard. **Teoria dos Campos Conceituais**. Disponível em:
<<https://w3.dmat.ufr.br/hector/PsiEduMat07.pdf>>. Acesso em: 10 de Out. de 2020.

VERGNAUD, Gérard. **Teoria dos campos conceituais**. Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993. P.26.

WIERSMA, Diederik Sybolt; MANA, Giovanni. **The fundamental constants of physics and the International System of Units**. DOI. 021 / Accepted: 12 September 2021 / Published online: 19 October 2021
Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12210-021-01022-z>>. Acesso em: 15 de Jun. de 2022.

WIKIPÉDIA – A Enciclopédia Livre. **Constante Física**. 2021. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Constante_f%C3%ADsica>. Acesso em: 15 de Maio de 2021.

WIKIPÉDIA. **Escritório Internacional de Pesos e Medidas**. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Escrit%C3%B3rio_Internacional_de_Pesos_e_Medidas>.
Acesso em: 10 de Ago. de 2022.

YE, Chao-hui; LI, Jia-ming; LUO, Jun. **Precision Measurement Physics and Its Methodology**. Hep.calis.edu. Front. Phys. China, 2009, 4(2): 143. Disponível em:
<<http://hep.calis.edu.cn/fulltext/fpy-0143-08110-luojun.pdf>>. Acesso em: 16 de Ago. de 2020.

ZHAN, Mingsheng; XIE, Xincheng. **Precision measurement physics: physics that precision matters**. *National Science Review* 18 June 2022. Disponível em:
<<https://academic.oup.com/nsr/article/7/12/1795/601731>>. Acesso em: 20 de Ago. de 2020.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

01. Assinale a alternativa que apresenta somente unidades do Sistema Internacional:
- a) metro, grama, minuto
 - b) metro, quilograma, segundo
 - c) metro, segundo, grama
 - d) centímetro, hora, quilograma
 - e) quilômetro, segundo, grama
02. Marque a alternativa em que são citadas apenas grandezas derivadas.
- a) Força, velocidade, aceleração e trabalho
 - b) Força, velocidade, aceleração centrípeta e tempo
 - c) Coeficiente de atrito, distância e força
 - d) Peso, força, aceleração e distância
 - e) Energia, massa, peso e tempo.
03. As unidades do SI podem ser escritas por meio de símbolos. Assinale a forma correta de escrever o comprimento, a massa e o tempo, respectivamente.
- a) M, KG, S
 - b) m, KG, s
 - c) m, kg, s
 - d) m, kg, S
 - e) M, kg, s
04. O que é uma grandeza adimensional? Cite pelo menos um exemplo.
05. Ao longo da história da humanidade as unidades de medida eram criadas e adaptadas de acordo com a necessidade dos povos. Muitas dessas medidas eram realizadas baseadas:
- a) em partes do corpo humano
 - b) nos objetos
 - c) em constantes
 - d) nas constelações
 - e) no mar
06. Algumas unidades ainda são utilizadas por determinados países até os dias atuais. A Inglaterra e os Estados Unidos utilizam a jarda como medida de:
- a) velocidade
 - b) área
 - c) volume
 - d) comprimento
 - e) tempo
07. É impossível desassociar o histórico das unidades de medida às necessidades humanas. Foi assim que, em 1795, período de grande efervescência social e política, conhecido como uma das revoluções mais importantes da História, apoiada nos ideais de liberdade, igualdade e fraternidade, foi instituído o Sistema Métrico, ligado aos interesses da burguesia para melhor organização das relações comerciais. Essa Revolução corresponde à:
- a) Revolução Gloriosa
 - b) Revolução Cubana

- c) Revolução Liberal do Porto
- d) Revolução Industrial
- e) Revolução Francesa

Texto para as questões 08 e 09

Existe uma unidade de consumo de energia elétrica usualmente utilizada, o quilowatt-hora (kWh), obtida através da relação $E = P \cdot \Delta t$, ou seja, pelo produto da potência elétrica (em kW) e o intervalo de tempo de funcionamento do aparelho (em horas). Todos os dispositivos que consomem energia elétrica devem ter gravados em alguma parte, os valores nominais das grandezas que utilizam, isto é, a potência elétrica que consomem e a voltagem que devem ser ligados.



Figura 18: lâmpada de 100 W
Fonte: obramax

08. Dessa forma, uma lâmpada de 100 W (0,1 kW) que permanece ligada 8 h por dia, tem um consumo de energia elétrica, ao final de um mês, igual a:

- a) 26 kWh
- b) 24 kWh
- c) 22 kWh
- d) 20 kWh
- e) 18 kWh

09. Sabendo que a tarifa de energia residencial normal no estado é de R\$/kWh: 0,62, o valor consumido pela lâmpada no mês foi:

- a) R\$: 11,88
- b) R\$: 12,88
- c) R\$: 13,88
- d) R\$: 14,88
- e) R\$: 15,88

10. Usar a internet no smartphone fora de casa pode ser preocupante para alguns usuários. Se não estiver conectado a uma rede Wi-Fi, o uso do plano de dados pode esgotar sua capacidade em pouco tempo, consumindo grande parte do que o plano permite. De acordo com as informações abaixo, o serviço de internet que gasta menos o plano de dados por minuto é:

- Assistir 1 minuto de vídeo no YouTube: 2 MB;
- Assistir a um episódio de 10 minutos no Netflix: 100 MB;

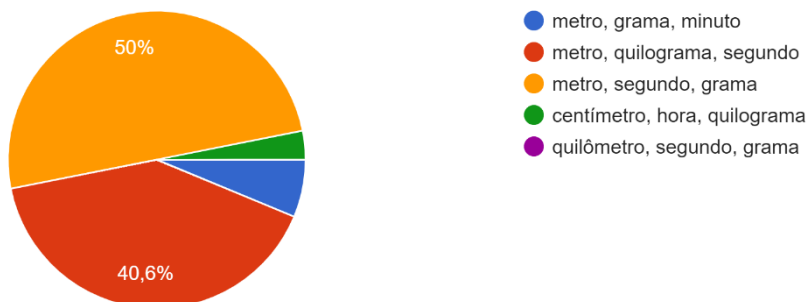
- Ouvir 1 minuto de música no Spotify: 3 MB;
- Usar o Twitter por 5 minutos: 8 MB;
- Olhar postagens, carregar fotos e poucos vídeos durante 5 minutos no Facebook: 2 MB.

- a) YouTube
- b) Netflix
- c) Spotify
- d) Twitter
- e) Facebook

APÊNDICE B – Resultado do Questionário – Dayse Galvão

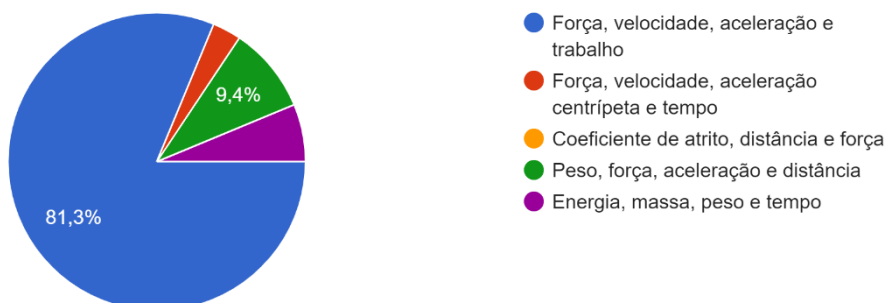
01. Assinale a alternativa que apresenta somente unidades do Sistema Internacional:

32 respostas



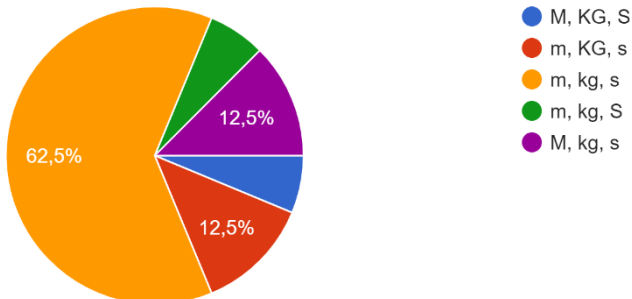
02. Marque a alternativa em que são citadas apenas grandezas derivadas.

32 respostas



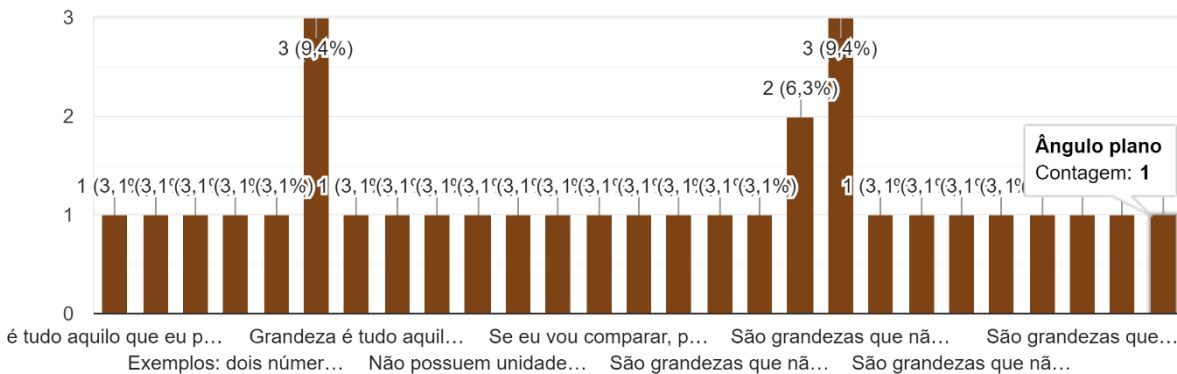
03. As unidades do SI podem ser escritas por meio de símbolos. Assinale a forma correta de escrever o comprimento, a massa e o tempo, respectivamente.

32 respostas



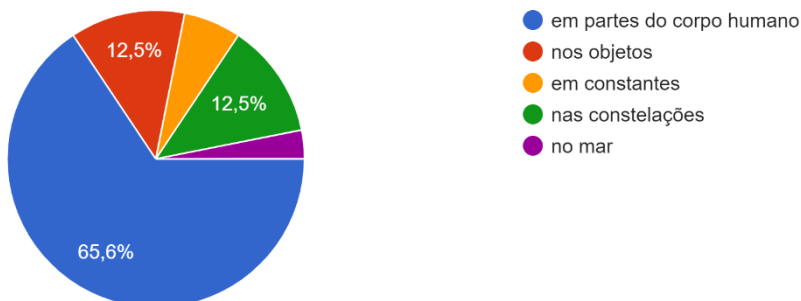
04. O que é uma grandeza adimensional? Cite pelo menos um exemplo.

32 respostas



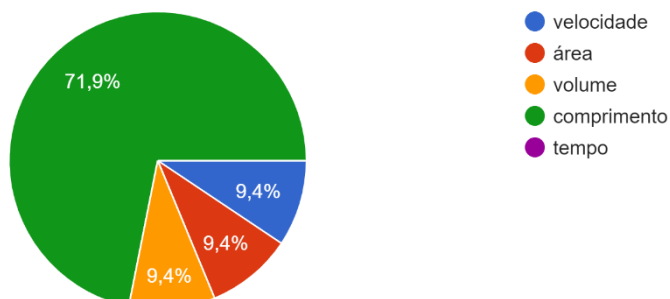
05. Ao longo da história da humanidade as unidades de medida eram criadas e adaptadas de acordo com a necessidade dos povos. Muitas dessas medidas eram realizadas baseadas:

32 respostas



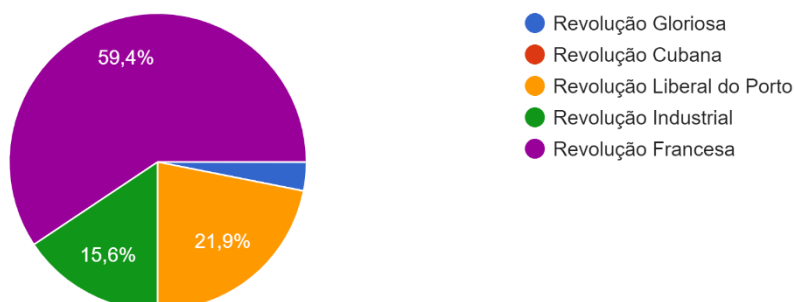
06. Algumas unidades ainda são utilizadas por determinados países até os dias atuais. A Inglaterra e os Estados Unidos utilizam a jarda como medida de:

32 respostas



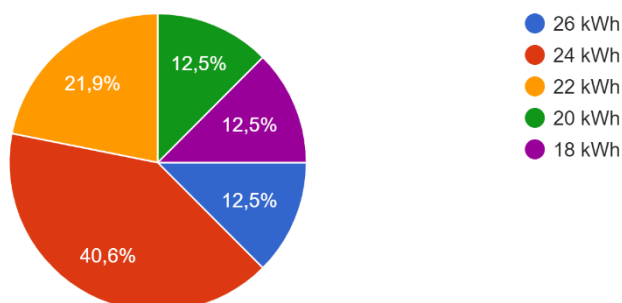
07. É impossível desassociar o histórico das unidades de medida às necessidades humanas. Foi assim que, em 1795, período de grande efervescência das revoluções comerciais. Essa Revolução corresponde à:

32 respostas



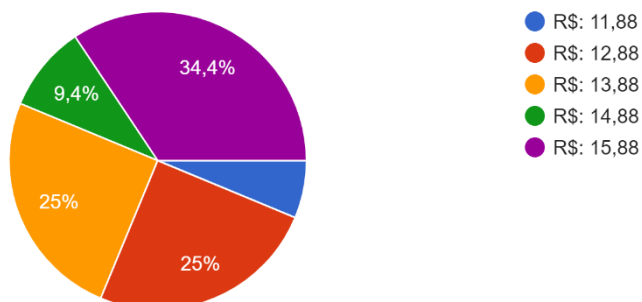
Texto para as questões 08 e 09. Existe uma unidade de consumo de energia elétrica usualmente utilizada, o quilowatt-hora (kWh), obtida através da...o de energia elétrica, ao final de um mês, igual a:

32 respostas



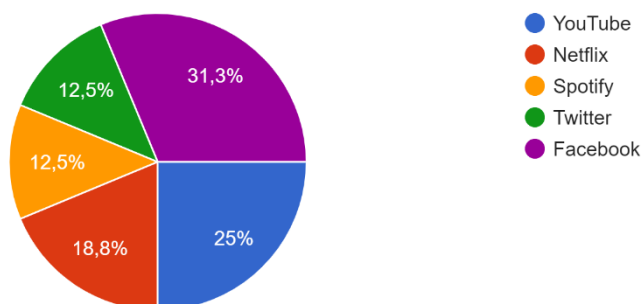
09. Sabendo que a tarifa de energia residencial normal no estado é de R\$/kWh: 0,62, o valor consumido pela lâmpada no mês foi:

32 respostas



10. Usar a internet no smartphone fora de casa pode ser preocupante para alguns usuários. Se não estiver conectado a uma rede Wi-Fi, o uso do plan...t que gasta menos o plano de dados por minuto é:

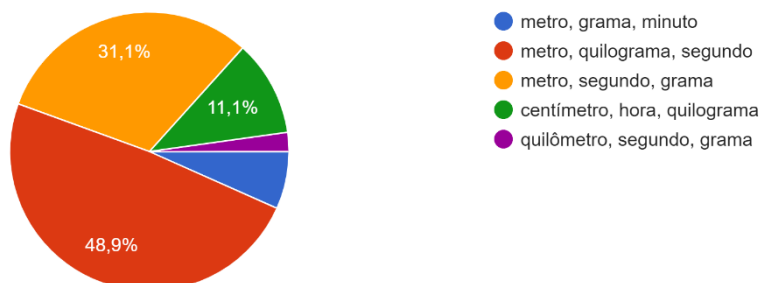
32 respostas



APÊNDICE C – Resultado do Questionário – CEJOL

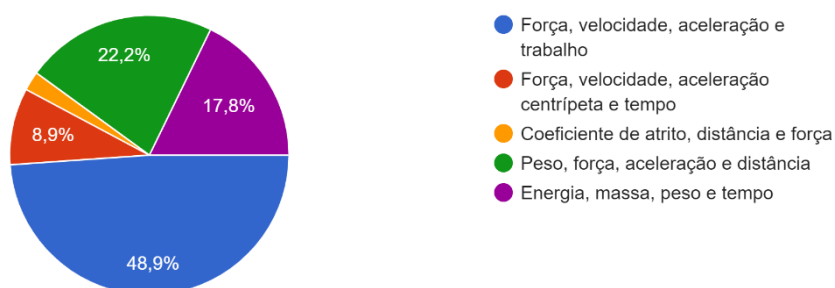
01. Assinale a alternativa que apresenta somente unidades do Sistema Internacional:

45 respostas



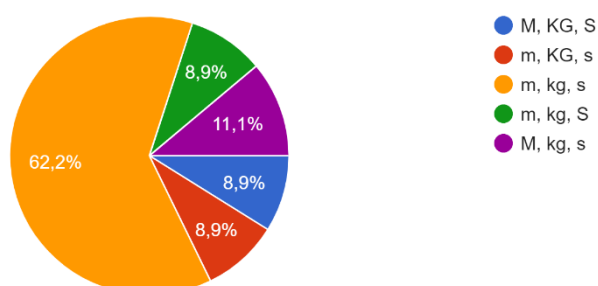
02. Marque a alternativa em que são citadas apenas grandezas derivadas.

45 respostas



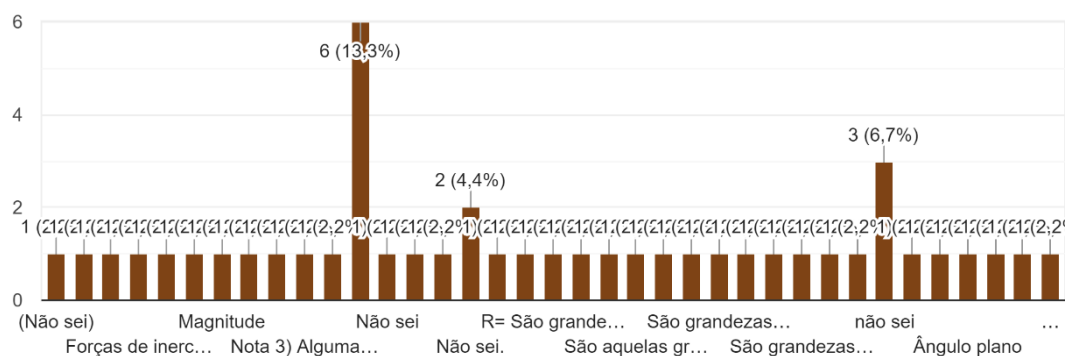
03. As unidades do SI podem ser escritas por meio de símbolos. Assinale a forma correta de escrever o comprimento, a massa e o tempo, respectivamente.

45 respostas



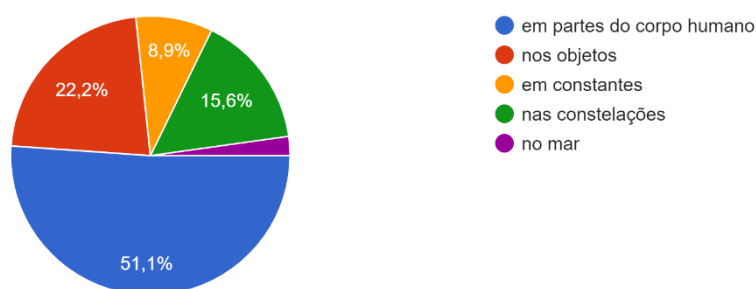
04. O que é uma grandeza dimensional? Cite pelo menos um exemplo.

45 respostas



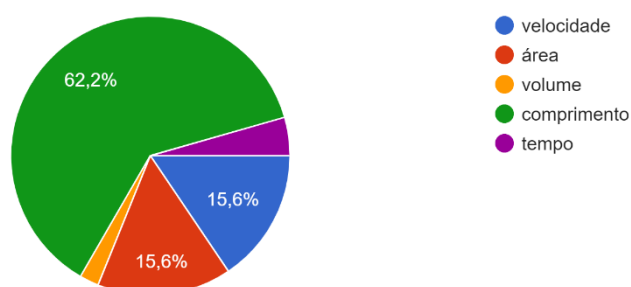
05. Ao longo da história da humanidade as unidades de medida eram criadas e adaptadas de acordo com a necessidade dos povos. Muitas dessas medidas eram realizadas baseadas:

45 respostas

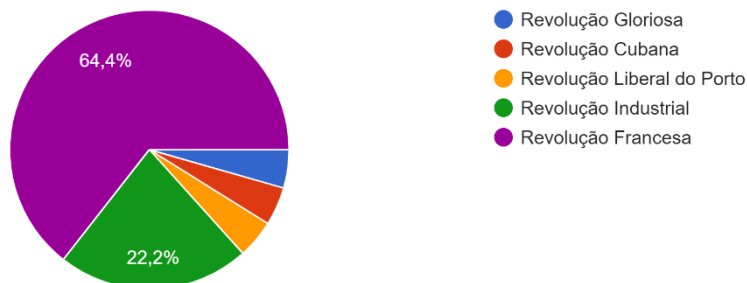


06. Algumas unidades ainda são utilizadas por determinados países até os dias atuais. A Inglaterra e os Estados Unidos utilizam a jarda como medida de:

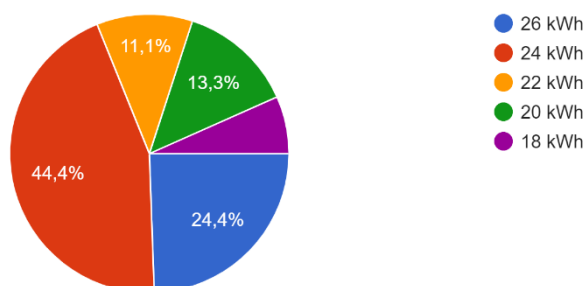
45 respostas



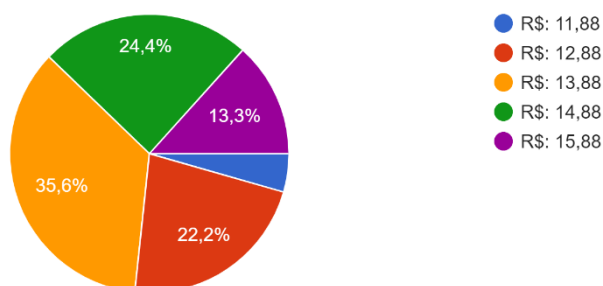
07. É impossível desassociar o histórico das unidades de medida às necessidades humanas. Foi assim que, em 1795, período de grande efervescência comercial. Essa Revolução corresponde à:
45 respostas



Texto para as questões 08 e 09. Existe uma unidade de consumo de energia elétrica usualmente utilizada, o quilowatt-hora (kWh), obtida através da...o de energia elétrica, ao final de um mês, igual a:
45 respostas



09. Sabendo que a tarifa de energia residencial normal no estado é de R\$/kWh: 0,62, o valor consumido pela lâmpada no mês foi:
45 respostas



10. Usar a internet no smartphone fora de casa pode ser preocupante para alguns usuários. Se não estiver conectado a uma rede Wi-Fi, o uso do plan...t que gasta menos o plano de dados por minuto é:
45 respostas

