

M L Miguez, N M Bigolin, F W A Sobreira, K W Capelle



Torneio de Física para Meninas 2024

Problemas e soluções



Copyright by Inesp © 2025
**INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE O
DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ
- INESP**

Diretor-Executivo do Inesp
João Milton Cunha de Miranda

Articulador
Emandes do Carmo

Assistente Editorial
Valquíria Moreira / Rachel Garcia

Supervisão de Design
Valdemice Costa de Sousa (Valdo)

Designer Gráfico
Valdério da Costa

***** DISTRIBUIÇÃO GRATUITA *****

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS ÀS EDIÇÕES INESP.
A presente obra não poderá ser comercializada e sua reprodução,
total ou parcial, por quaisquer meios reprográficos ou digitais,
deverá ter a autorização prévia das Edições Inesp.

Catalogado por Daniele Sousa do Nascimento CRB-3/1023

M634t Miguez, Maria Luiza.

Torneio de física para meninas 2024 [livro eletrônico]: problemas e soluções / Maria Luiza Miguez, Nara Martini Bigolin, Fernando Wellysson de Alencar Sobreira, Klaus Werner Capelle. – Fortaleza: INESP, 2025.

168 p. : il. color. ; 4500 KB ; PDF

ISBN : 978-656094-083-3

I. Física – problemas e exercícios. I. Bigolin, Nara Martini. II. Sobreira, Fernando Wellysson de Alencar. III. Capelle, Klaus Werner. IV. Ceará. Assembleia Legislativa. Instituto de Estudos e Pesquisas sobre o Desenvolvimento do Estado. V. Título.

CDD 530.1



TORNEIO DE FÍSICA PARA MENINAS 2024

Problemas e soluções

Maria Luiza Miguez
IFNMG, Januária/MG

Nara Martini Bigolin
UFSM, Frederico Westphalen/R.S

Fernando Wellysson de Alencar Sobreira
IFCE, Itapipoca/CE
IIF - UFRN, Natal/RN

Klaus Werner Capelle
UFABC, Santo André/SP
IIF - UFRN, Natal/RN



Palavra do Presidente da Alece

A democracia não é um estado de maturidade nacional e institucional que se instala, e se preserva pela sua própria natureza, sem que precisemos nos manter vigilantes a fim de combater ataques e construí-la cotidianamente.

E como as gerações mudam, os jovens de hoje precisam aprender com os jovens de ontem que o Parlamento é a expressão mais fiel do poder democrático da população. Os debates, os perfis dos e das parlamentares, as leis produzidas, são resultados do que somos na nossa essência.

Manifesto gratidão aos meus pares, cujos votos me colocaram à frente do Legislativo cearense exatamente nesta celebração de 190 anos do Parlamento. Celebração que é o resultado da continuidade de um processo democrático iniciado em 1835, e é cheio de ranhuras, a exemplo de ditaduras, golpes, uma cruel pandemia, e o doloroso incêndio do Plenário 13 de Maio – o coração dos nossos mandatos. Ranhuras que vamos enfrentando, resistindo e nos reconstruindo com bravura.

Não somos mais a Província do Ceará. Contudo, não podemos esquecer, foi lá que o senador José Martiniano de Alencar plantou a semente da casa em que agora podemos ver germinar uma comissão temática dos direitos e defesas da mulher cearense – um marco moderno e necessário.

Portanto, com firmeza, gentileza, educação e ternura, respeitamos o passado, para construir um futuro melhor. A assembleia que chega aos 190 anos como uma das mais transparentes do país deverá trabalhar para ser a mais transparente do Brasil.

Porque nosso passado e nosso futuro é ousar. O Ceará, que é referência na educação brasileira, não vê fronteiras como barreiras, mas sim como desafios a serem superados. E seguiremos em frente. Tenham certeza.

Deputado Estadual Romeu Aldigueri

PRESIDENTE DA ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO CEARÁ

Palavra do Diretor-Executivo do Inesp

O Instituto de Estudos e Pesquisas sobre o Desenvolvimento do Estado do Ceará (Inesp), criado em 1988, é um órgão técnico e científico de pesquisa, educação e memória. Ao idealizar e gerenciar projetos atuais que se alinham às demandas legislativas e culturais do estado, objetiva ser referência no cenário nacional.

Durante seus mais de 30 anos de atuação, o Inesp prestou efetiva contribuição ao desenvolvimento do estado, assessorando, por meio de ações inovadoras, a Assembleia Legislativa do Estado do Ceará (Alece). Dentre seus mais recentes projetos, destacam-se o Edições Inesp e o Edições Inesp Digital, que têm como objetivos editar livros, coletâneas de legislação e periódicos especializados. O Edições Inesp Digital obedece a um formato que facilita e amplia o acesso às publicações de forma sustentável e inclusiva. Além da produção, revisão e editoração de textos, ambos os projetos contam com um núcleo de design gráfico.

O Edições Inesp Digital já se consolidou. A demanda por suas publicações alcançou uma marca de 5 milhões de downloads. As estatísticas demonstram um crescente interesse nas publicações, com destaque para as de Literatura, Ensino, Legislação e História, estando a Constituição Estadual e o Regimento Interno entre os primeiros colocados.

Torneio de Física para Meninas 2024 - Problemas e Soluções é mais uma obra do diversificado catálogo de publicações do Edições Inesp Digital, que, direta ou indiretamente, colaboram para apresentar respostas às questões que afetam a vida do cidadão.

Professor Dr. João Milton Cunha de Miranda

DIRETOR-EXECUTIVO DO INESP

Sumário

Introdução	15
Apresentação do torneio	17
Quem é Yvonne Mascarenhas?	19
Movimento Meninas Olímpicas	23
Papel do IIF no TFM	28
Estrutura da competição	31
1ª fase do TFM - Nível A	33
1ª fase do TFM - Nível B	53
2ª fase do TFM - Nível A	75
Problema 1 - Rede cristalina	77
Problema 2 - Modelo de Drude	80
Problema 3 - Uma questão de escala	83
Problema 4 - Equilíbrio com polias	86
Problema 5 - Modelo de Sommerfeld para o calor específico	89
2ª fase do TFM - Nível B	93
Problema 1 - Rede cristalina	95
Problema 2 - Modelo de Drude	98
Problema 3 - Transição sólido-líquido	102
Problema 4 - Um sistema de blocos e polias	105
Problema 5 - Modelo de Debye para o calor específico	110
Estudantes medalhistas	113
8º ano do Ensino Fundamental	115
9º ano do Ensino Fundamental	120
1º ano do Ensino Médio	127
2º ano do Ensino Médio	134
3º e 4º anos do Ensino Médio	145

Estatísticas de participantes	155
Estudantes inscritas	157
Participantes da 2ª fase	159
Estudantes medalhistas	161
Comissão organizadora	165

Introdução

Este livro foi concebido com a ideia de dar visibilidade à 2^a edição da primeira Olimpíada de Física, exclusivamente, para meninas, realizada no Brasil, o Torneio de Física para Meninas - TFM. Embora a física seja, obviamente, uma ciência universal, independente do gênero, o acesso à física é uma construção humana e reflete a realidade social, com uma forte sub-representação feminina nas ciências exatas. A esperança para o TFM é que essa competição seja mais um elemento de incentivo para que as meninas possam descobrir sua vocação, mostrar suas habilidades e iniciar as suas carreiras nas áreas das ciências exatas.

Neste livro são apresentados aspectos gerais da competição, incluindo o motivo da sua criação, o envolvimento do Movimento Meninas Olímpicas e do Instituto Internacional de Física e o formato da competição, com destaque especial para a vida e o trabalho da cientista Yvonne Primerano Mascarenhas, que foi escolhida para ser homenageada nesta 2^a edição da olimpíada. Apresentamos também os problemas, com soluções, que compuseram as duas fases do torneio em 2024, bem como estatísticas de cada etapa. Fazemos, ainda, uma homenagem apresentando os nomes das estudantes que se destacaram, nessa segunda edição do TFM, como medalhistas, bem como suas escolas.

Esperamos que esse registro inspire futuras gerações de jovens cientistas a perseguirem seus sonhos, para que possam tornar o mundo mais igualitário. Que estas páginas sejam a celebração da dedicação e do talento de todas as participantes, que foram apoiadas por suas escolas, seus professores e familiares que acreditam no potencial ilimitado das mulheres nas ciências.

Agradecimentos. This work was supported by the Simons Foundation [Grant No. 1023171 (RC)]. Este trabalho foi apoiado pela FUNPEC através do projeto FUNPEC/UFRN/Fronteiras da Ciência. Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq através do Projeto 446046/2023-0 TORNEIO DE FÍSICA PARA MENINAS 2024 e pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) através do projeto 1699/24 IIF-FINEP.

Os autores.



Apresentação do torneio



Quem é Yvonne Mascarenhas?

Um diferencial do Torneio de Física para Meninas é a cada edição escolher uma cientista para homenagear. Durante o torneio, as redes sociais do TFM divulgam as realizações da homenageada, e sua área de pesquisa é refletida em várias questões das provas da 1ª e 2ª fase.

Essa homenagem anual a uma mulher cientista visa mitigar a baixa representatividade feminina, que é uma das causas de poucas meninas escolherem as áreas de ciência e tecnologia. Espera-se que divulgando essas mulheres que se destacaram e, ainda, continuam a se destacar na física mais meninas possam se inspirar e seguir carreira nessas áreas.

No TFM 2023, a nossa homenageada foi a física austríaca Lise Meitner, pioneira na área da Física Nuclear, que foi escolhida para estar representada na nossa logo.



Na edição atual, a cientista homenageada foi a Profa. Dra. Yvonne Mascarenhas (Figura 1). A professora Yvonne, atualmente com 93 anos, é professora aposentada que continua ativa no Instituto de Física de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

Nasceu em Pederneiras, cidade do interior de São Paulo, mudou-se para a cidade do Rio de Janeiro, onde se graduou em química e física



Figura 1: Foto da profa. Yvonne Mascarenhas.
Fonte: Site ComCiência¹.

pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.

Em 1956, mudou-se para São Carlos a fim de ser professora na USP. Foi a primeira mulher a ocupar uma cadeira no Departamento de Física na Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP.

Ainda na graduação interessou-se pela área de cristalografia e seguiu nessa área de pesquisa em seu doutorado, realizado na Univerdade de São Paulo e estágios de pós-doutorado feitos em diversas universidades no exterior, incluindo a Universidade de Harvard.

O laboratório de pesquisa liderado pela Professora Yvonne Mascarenhas foi um dos primeiros do Brasil a determinar estruturas cristalinas com financiamento do CNPq e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Em 1971, ela fundou, junto com outros cristalógrafos do Brasil e do exterior, a Sociedade Brasileira de Cristalografia, que existe até hoje. Dado seu prestígio e reconhecimento, a profa. Yvonne foi eleita a primeira presidenta dessa sociedade, cargo que voltou a ocupar diversas vezes nas décadas seguintes.

Após ter iniciado sua carreira no Departamento de Física da EESC,

¹<https://www.comciencia.br/especial-o-jardim-de-yvonne-primerano-mascarenhas/>

a partir de 1971 foi professora titular no Instituto de Física e Química de São Carlos (IFQSC). Em 1994, a professora Yvonne participou da fundação do Instituto de Física de São Carlos, IFSC, onde continua atuando, mesmo aposentada, em cristalografia aplicada à determinação de estruturas cristalinas e moleculares por difração de raios-X e estudos estruturais de materiais por espalhamento de raio-X a baixos ângulos. Outra vertente importante do seu trabalho é a Difusão Científica, coordenando um Grupo de Trabalho do Instituto de Estudos Avançados da USP, Polo de São Carlos.

A profa. Yvonne é membra titular da Academia Brasileira de Ciências, desde 2021 e recebeu diversos prêmios, nacionais e internacionais, como forma de reconhecimento de sua contribuição para a ciência. Destacamos o prêmio da **Ordem Nacional do Mérito Científico, ONMC/MCT², na Classe da Grã-Cruz, pelo Presidente da República, Fernando Henrique Cardoso, em 1998**, o prêmio **Distinguished Woman in Chemistry/Chemical Engineering, International Union of Pure and Applied Chemistry** em 2017 e, em 2024, o **Prêmio Carolina Bori Ciência e Mulher, na categoria Engenharia, Exatas e Ciências da Terra pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**.

A professora Yvonne Mascarenhas, generosamente, aceitou o convite para participar do evento online de anúncio das estudantes medalhistas do TFM 2024, e durante o evento proferiu falas de destaque, homenageando as estudantes premiadas contando detalhes da sua vida. Alguns trechos proferidos estão registrados a seguir:

“Agradeço imensamente por essa homenagem. Espero que ela sirva mesmo de estímulo para as mulheres procurarem a sua vocação e se dedicarem a essa vocação com todo o empenho.”

“Quero contar um pouquinho para vocês, alguma coisa que normalmente não sai no meu currículo nem nas entrevistas. Eu sou filha de um casal que não teve grandes estudos mas que conhecia o valor

²Ministério da Ciência e Tecnologia

do estudo e da ciência, então eu sou uma de três irmãs, todas nós três acabamos fazendo curso superior. Eu comecei, quando estava lá no curso que hoje é o curso 2º grau, muito encantada pela área de humanas, principalmente letras filosofia esse tipo de coisa. Mas entrei em contato com um professor muito bom de ciências, principalmente de Química que me inspirou e eu fui fazer então curso de Química na atual UFRJ que naquele tempo se chamava Universidade do Brasil. Minhas duas irmãs seguiram a mesma carreira, todas as duas fizeram lindas carreiras, uma em Física Médica, se aposentou nos Estados Unidos, por coincidência está hoje comigo aqui, e a outra ficou em Física de Estado Sólido, foi professora da Unicamp. Então, eu quero mostrar isso como um exemplo, de que nós três, com persistência, procurando fazer um trabalho muito sério, de modo a ser reconhecido pela comunidade que, principalmente naquela época, era predominantemente masculina, conseguimos ser reconhecidas e traçamos uma historia na Ciência. E que posso considerar bastante satisfatória. Então, a minha palavra é sempre de estímulo ao estudo e ao trabalho e muita persistência. [...] Muito obrigada mais uma vez pela oportunidade de falar para as meninas e principalmente pela grande honra que foi dedicarem essa olimpíada como homenagem ao meu nome.”

Movimento Meninas Olímpicas

O Movimento Meninas Olímpicas, um ecossistema de olimpíadas científicas focado em meninas, fundado em julho de 2016 pelas irmãs olímpicas Natalia Groff e Mariana Groff, coordenado pela cientista da computação e pesquisadora Nara Martini Bigolin, cujo objetivo consiste em aumentar a presença das mulheres em espaços estratégicos tais quais o meio político, empresarial ou científico da sociedade, por meio do incentivo à participação igualitária das meninas na computação e em olimpíadas de conhecimento na área de STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), pois foi constatado que o percentual de meninas premiadas em olimpíadas científicas equivale às mulheres em espaço de poder. A presença feminina é inversamente proporcional ao prestígio das olimpíadas ou dos espaços de poder e decisão, conforme o gráfico da figura 2.

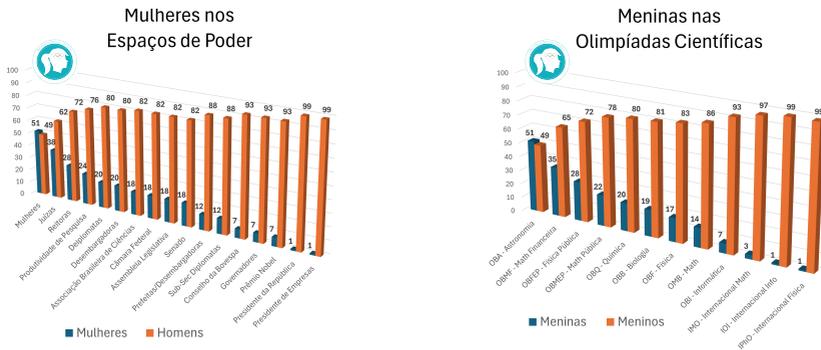


Figura 2: Percentual de ocupação de mulheres em espaços de poder e participação de meninas entre estudantes premiados, em olimpíadas científicas.

A pequena participação feminina, em lugares prestigiados, na ciência sofre impactos pela falta de estímulos e, também, devido à maternidade. Na sociedade como um todo, conforme aumenta o prestígio de um cargo, a presença das mulheres diminui. Esse comportamento se repete nos cargos de chefia das empresas, no meio científico pelas distribuições de bolsas de apoio aos pesquisadores e no meio político. Por exemplo, as juízas são 44% das ingressantes, mas apenas 12% chegam a desembargadoras. Quando se analisam os dados

das bolsas de iniciação científica financiadas pelo CNPQ, verifica-se que 59% dos bolsistas são mulheres, atuando, predominantemente, nas áreas das ciências humanas. Mas, analisando as bolsas de nível 1A (destinadas aos pesquisadores mais atuantes), apenas 24,6% pertencem às mulheres. Esse é o “efeito tesoura”, que também acontece nas olimpíadas científicas.

Em agosto de 2024, o Movimento Meninas Olímpicas lançou o **Portal de Olimpíadas Científicas**³. O Portal de Olimpíadas Científicas é um espaço dedicado a facilitar o acesso às informações sobre as diversas competições científicas realizadas em todo o país. Essa plataforma contém informações para acompanhar as datas de inscrição e de provas das olimpíadas, notícias relevantes, edições anteriores entre outras características das olimpíadas científicas. O objetivo é promover a divulgação dessas competições e incentivar a participação de estudantes de todas as idades.



Figura 3: Portal de Olimpíadas Científicas lançado pelo Movimento Meninas Olímpicas para facilitar o acesso às informações sobre as competições científicas realizadas no país.

Esse portal presta um serviço importante para professores e alunos da educação básica e superior que têm interesse em participar de olimpíadas científicas. Desempenha um papel relevante na divulgação de informações e incentivo ao desenvolvimento de competências e habilidades pessoais e acadêmicas. Em menos de 1 ano desde a sua criação,

³Portal de Olimpíadas Científicas. url: <https://olimpiadas.ufsm.br/>.

esse portal teve mais de 10 mil acessos.

Outras ações realizadas pelo Movimento Meninas Olímpicas são:

- Elaboração de propostas para a criação do Prêmio Meninas Olímpicas pelos poderes públicos: Poder Legislativo Municipal (Câmara de Vereadores), Estadual (Assembleias Legislativas) e Federal (Câmara e Senado) por meio de projeto de lei. Atualmente, os estados do RS, PR, ES, MS e AM têm o Prêmio Meninas Olímpicas aprovado por lei. Na Câmara Federal, no Senado e mais sete Assembleias Legislativas, o projeto está em tramitação (<https://tfcbr.inf.ufsm.br/sobre/premio-legislativo>).
- Proposição de prêmios especiais para as meninas em olimpíadas científicas nacionais como: a OBM, OBF, OBQ, OBB, OBECON, ONC e OPM e internacionais como na Cone-sul e na IMO - Olimpíada Internacional de Matemática (<https://tfcbr.inf.ufsm.br/sobre/trofeus-meninas-olimpicas>).

Com o objetivo de incentivar a participação das meninas na Olimpíada de Matemática, os organizadores da Olimpíada Internacional de Matemática, realizada no Brasil em 2017, instituíram o “Prêmio Meninas Olímpicas”, em homenagem ao Movimento Meninas Olímpicas do Brasil, dado a estudantes de todos os continentes. No ano de 2018, esse prêmio passou a ser chamado *Mirzakhani Award*, em homenagem a Maryam Mirzakhani, a 1ª mulher vencedora da Medalha Fields e que faleceu durante a IMO 2017.

- Criação de olimpíadas femininas nacionais e estaduais como o Torneio Feminino de Computação - TFC (2020) e apoio ao Torneio de Física para Meninas – TFM (2023), à Olimpíada Nacional Feminina de Química - Quimeninas (2023), Olimpíada Feminina de Matemática do Estado da Bahia - OFMEBA (2021), bem como Olimpíada Brasileira de Tecnologia - OBT (2021), Olimpíada Nacional de Filosofia - ONFil (2024), Olimpíada Nacional de Astro-nomia Digital - ONAD (2024) e Olimpíada Brasileira de Inteligência Artificial (2024).
- Criação e organização de eventos olímpicos: I Workshop Bra-

sileiro de Olimpíadas Científicas (WBOC 2021) (<https://csbc.ufsc.br/eventos/wboc/>) e o Painel Olimpíadas Científicas durante o Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - CSBC 2020, o qual reuniu coordenadores de 16 olimpíadas científicas (<https://www.youtube.com/watch?v=yMV63XPiLg>).

- Levantamento dos dados sobre a sub-representação feminina em olimpíadas científicas e criação de mapas com as meninas das principais olimpíadas do Brasil como a OBM, OBF, OBMEP, OBFEP, OBA, ONHB, OBI e OBL (<https://sites.google.com/ufsm.br/meninasolimpicas>).
- Divulgação de relatos de meninas olímpicas para sensibilizar a opinião pública de suas dificuldades. (<https://www.youtube.com/@tfcbr/videos>).
- Incentivo na participação do Brasil em olimpíadas femininas internacionais, como a European Girls' Mathematical Olympiad - EGMO, e European Girls' Olympiad in Informatics - EGOI, criadas devido à baixa participação feminina nas áreas de matemática e computação.

O Movimento Meninas Olímpicas está em expansão no Brasil, e algumas universidades criaram projetos de extensão “Meninas Olímpicas” nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste, como o Projeto Meninas Olímpicas do Instituto de Matemática Pura e Aplicada - IMPA (2019), o projeto Meninas Olímpicas da Universidade Federal de Alagoas - UFAL (2023) e o projeto Meninas Olímpicas na Universidade de Brasília - UNB (2023).

Após a criação do Movimento Meninas Olímpicas, a presença das meninas nas equipes das olimpíadas internacionais tem aumentado. Historicamente, as meninas representavam cerca de 2% dos participantes nas equipes brasileiras. Em 2021, a equipe que representou o Brasil na International Chemistry Olympiad (ICHO) teve 75% de meninas em sua equipe. Na Olimpíada Internacional de Informática (IOI), a primeira participação feminina ocorreu em 2020 com a estudante Carolina Moura, que também participou da edição 2021, obtendo a melhor classificação entre todas as participantes femininas da competição.

Na Olimpíada Brasileira de Informática (OBI), a estudante Maria Clara, cursando o 8º ano do ensino fundamental, obteve o melhor desempenho, competindo em provas em nível do 2º e 3º anos do ensino médio. Em 2024, a Maria Clara representou o Brasil em seis olimpíadas internacionais, sendo três de Matemática e três de Computação. Na história das equipes brasileiras em olimpíadas internacionais, nenhum menino jamais conseguiu esse desempenho.

Nas olimpíadas de Física, na Olimpíada Brasileira de Física (OBF) e na Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas (OBFEP), a 1ª ação do Movimento Meninas Olímpicas foi propor um prêmio especial para as meninas em 2016⁴. A segunda ação foi em 2023, quando o Movimento Meninas Olímpicas apoiou a criação do Torneio de Física para Meninas - TFM.

Todos os anos, desde 2016, o Movimento Meninas Olímpicas, em parceria com a Procuradoria Especial da Mulher da Assembleia Legislativa do Rio Grande do Sul, homenageia as meninas que se destacam nas áreas de Matemática, Computação, Química, Física, Astronomia e Ciências. Na edição 2024 da OBF, 100% das medalhistas de ouro, prata e bronze do ensino fundamental, no RS, foram meninas.

É relevante que, além das escolas, os pais e mães de meninas as incentivem, pois elas são extraordinárias e podem ter resultados incríveis nas olimpíadas e serem protagonistas de sua própria história. Acreditamos na importância do Movimento Meninas Olímpicas, como uma forma de incentivar e valorizar as capacidades cognitivas das meninas, aumentando, assim, a participação e manutenção delas nas áreas das ciências e das tecnologias. Afinal, as ações compensatórias são necessárias para uma reparação histórica, pois as mulheres, por muitos séculos, não tiveram acesso a todos os espaços.

O Movimento Meninas Olímpicas é um projeto institucional da Universidade Federal de Santa Maria, criada em 14 de dezembro de 1960, sendo a primeira Universidade Federal criada no interior, fora de uma capital brasileira. Atualmente, conta com aproximadamente 30 mil estudantes.

⁴<https://dombarreto.com/portal/noticia/post/311/>

Papel do IIF no TFM

O Instituto Internacional de Física (IIF) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) foi criado em Natal em 2009, com a missão de constituir um polo de física teórica no Brasil e atuar como vitrine da física brasileira perante o mundo. Para esse fim, o IIF realiza pesquisa de ponta em física teórica, organiza conferências e escolas científicas nacionais e internacionais em física e áreas afins, e mantém programas para visitas científicas de curta e longa duração e de pós-doutorado.

Embora pesquisa e internacionalização sejam as missões precípuas do IIF, ficou claro durante a primeira década da sua existência, que a competência instalada no instituto, a infraestrutura criada no seu prédio próprio e seus programas de visitantes e de eventos podem contribuir, também, com outras pautas importantes. Em particular, o Comitê Assessor Internacional do IIF – órgão composto por cientistas do mais alto nível internacional que, periodicamente, avalia as atividades do instituto e elabora sua estratégia de longo prazo – apontou que a partir da retomada das atividades no cenário pós-pandêmico, o instituto deveria dedicar parte dos seus recursos a pautas educacionais.

Claramente, tais pautas educacionais não deveriam ser interpretadas como graduação e pós-graduação tradicionais em física – atividades realizadas com competência no departamento de física da universidade e que não precisam, nem deveriam, ser duplicadas em outra unidade. Considerando a missão e o perfil de atividades do IIF, seu envolvimento com educação deveria focar em modelos menos explorados e mais inovadores, para públicos-alvo selecionados de acordo com o perfil do instituto, em particular, alunos com vocação especial e/ou altas habilidades para a ciência.

Por esse motivo, iniciou-se, a partir de 2021, um processo de debate e exploração de possíveis atividades e programas educacionais no IIF. Esse processo levou à identificação de várias atividades, atualmente em andamento ou em preparação, mas desde o começo o envolvimento com Olimpíadas Científicas, seja como centro de treinamento para os estudantes e seus professores, ou como coorganizador, foi considerado

uma vertente particularmente promissora.

Em paralelo, outro processo em andamento no IIF visa ao aumento da diversidade entre os integrantes, visitantes e estudantes do instituto. Embora ambas essas linhas de atuação, as pautas educacionais e a diversidade, tenham objetivos distintos, há claras oportunidades para sinergias benéficas entre elas. O Torneio de Física para Meninas ilustra, de forma perfeita, essas sinergias.

Na prática, o envolvimento do IIF com o TFM foi facilitado pelo fato de três dos coorganizadores do TFM (os autores FW, MLM e KC) atuarem no IIF, como integrantes ou visitantes do seu Grupo de Ciência e Ensino Interdisciplinar (CEI). Em 2024, da mesma forma como já tinha feito em 2023, o IIF encarregou-se da organização da cerimônia de lançamento do torneio e da sua cerimônia de premiação, ambas foram realizadas on-line e transmitidas, ao vivo, pelo canal de YouTube do instituto, divulgadas e acompanhadas pela equipe jornalística do IIF.

Aproveitando um dialogo já aberto entre o IIF e a Sociedade Brasileira de Física (SBF), responsável pela organização das olimpíadas nacionais de física no Brasil, o TFM foi apresentado à direção da SBF e à coordenação da Olimpíada Brasileira de Física (OBF). A partir dessa apresentação, a SBF reconheceu o TFM, formalmente, como uma olimpíada de física – reconhecimento que aumentou fortemente a credibilidade e visibilidade do torneio.

Negociou-se, ainda, um acesso direto para meninas bem classificadas no TFM para o processo seletivo que leva à formação das equipes brasileiras para as olimpíadas internacionais de física, equiparando, assim, o TFM aos níveis de entrada da própria OBF e da Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas (OBFEP). Especificamente, a coordenação das Seletivas para as Olimpíadas Internacionais de Física (SOIFs) concedeu 10 vagas para meninas premiadas no TFM para as SOIFs e cinco vagas para o Torneio Brasileiro de Física (TBF). A concessão dessas vagas às egressas do TFM, mesmo na sua primeira edição, constituiu um importante voto de confiança da SBF e da coordenação da SOIFs com a proposta do TFM e o IIF. Na edição de 2024, foram concedidas 15 vagas de estudantes do TFM para as SOIFs 2026.

Às 15 vagas concedidas para as SOIFs e para o TBF somaram-se mais cinco vagas na Vivência Científica do IIF, atividade presencial de imersão em ciência realizada pelo instituto para alunos com engajamento e habilidades destacados. Dessa forma, além dos benefícios intrínsecos do próprio TFM para suas participantes, para vinte delas este torneio também se tornou porta de acesso para outros desafios e oportunidades.

Como a edição de 2024 do TBF também foi realizada em Natal, com coorganização do IIF, foi possível entrevistar presencialmente as meninas classificadas para o TBF pelo TFM de 2023, bem como meninas que se classificaram para o TBF de outras formas, para colher suas impressões e consultá-las acerca de sugestões para a próxima edição do TFM.

As impressões das participantes, a repercussão geral do TFM, a colaboração com a OBF/SBF, e a avaliação interna do torneio pelo próprio IIF têm sido muito positivas, o que levou o IIF a renovar seu compromisso com o TFM e colocar-se à disposição para continuar promovendo o torneio nas suas próximas edições.

Estrutura da competição

Nesta segunda edição do TFM, o público alvo foram estudantes que se identificaram com o sexo feminino, regularmente matriculadas no Ensino Médio (EM) e no Ensino Fundamental (EF) em instituições de ensino brasileiras. A adição do EF foi feita após pedidos das próprias escolas e incentivo das participantes da primeira edição. Assim como em 2023, a competição foi aplicada gratuitamente em todo o território nacional.

Para atender a públicos distintos, EF e EM, a olimpíada foi separada em dois níveis, A e B, sendo que o nível A foi voltado para estudantes do EF e o nível B para estudantes do EM.

As estudantes participantes de ambos os níveis foram avaliadas por meio de seu desempenho em duas fases da competição, sendo:

(a) 1ª fase:

Prova com 15 (quinze) questões de múltipla escolha aplicada em formato digital através do sistema Olimpo, com duração de duas horas. Essa fase foi aberta para todas as participantes.

(b) 2ª fase:

Prova com cinco questões dissertativas aplicada presencialmente, em todo o território nacional, em locais cadastrados como polos locais de aplicação. A prova teve duração de quatro horas. Participaram dessa fase apenas as estudantes que tiveram desempenho igual ou acima da nota de corte, estabelecida para cada série, na prova da primeira fase.

Os conteúdos das provas da 1ª e 2ª fases foram baseados em um programa estabelecido no regulamento da competição. Algumas das perguntas tinham relação com a área de pesquisa em Cristalografia, área na qual atua a homenageada da edição 2024 do TFM, a Profa. Dra. Yvonne Mascarenhas. Outras questões se inspiraram nas olimpíadas esportivas realizadas, em 2024, em Paris.

As estudantes com o melhor desempenho na prova da 2ª fase foram classificadas por série (com exceção da 3ª e 4ª séries do EM que competem juntas) para cada série foram estabelecidos critérios de de-

sempenho para atribuir medalhas de ouro, prata e bronze.

Assim como são estabelecidos critérios para a premiação das estudantes com medalhas de ouro, prata e bronze, a comissão organizadora do TFM estabeleceu os critérios para:

- Convidar 05 estudantes de 3^o ano do EM para participarem da Vivência Científica do IIF, um evento de imersão realizado em Natal/RN com estudantes de destaque em atividades acadêmicas;
- Convidar 05 estudantes de 2^o ano do EM para participarem diretamente do Torneio Brasileiro de Física 2025 (TBF), etapa final de seleção de estudantes brasileiros para as olimpíadas internacionais de Física em 2025;
- Convidar 05 estudantes do 9^o ano do EF e 10 estudantes de 1^o ano do EM para participarem das etapas seletivas para as olimpíadas internacionais de Física de 2026, realizadas pela Sociedade Brasileira de Física, e que classificam para o TBF 2026;
- Selecionar 15 estudantes de EF e EM para participarem de um programa de Iniciação Científica Jr. durante o ano de 2025, possível devido ao financiamento da competição pelo CNPq.

Além disso, visando manter o engajamento das estudantes nas competições para as quais o TFM classifica e para o próprio TFM, foram desenvolvidos durante todo o ano de 2024, durante a vigência da competição, atividades de tutoria que tinham por objetivos: sanar as dúvidas das estudantes quanto ao formato da competição; prepará-las para competições de níveis mais avançados.



1ª fase do TFM

Nível A - Ensino Fundamental



Problema 1. A profa. Yvonne Mascarenhas, a senhora dos Cristais (Pesquisa Fapesp, Ed. 258, ago. 2017), é uma pesquisadora brasileira referência na área de Cristalografia. Ela nasceu na cidade de Pederneiras/SP e se fixou como pesquisadora na cidade de São Carlos/SP.

Numa de suas viagens entre sua cidade natal e seu local de trabalho, ela mediu com a ajuda de um termômetro de mercúrio a temperatura em Pederneiras e São Carlos e obteve, respectivamente, 28°C e 24°C.

Como uma boa cientista e observadora, ela percebeu que o termômetro que utilizava parecia não estar calibrado corretamente. Para constatar isso, ela percebeu que numa solução em equilíbrio de água com gelo a temperatura medida era 8°C enquanto a temperatura de uma mistura de água com vapor de água em equilíbrio era 88°C.

Dessa maneira ela conseguiu descobrir a diferença de temperatura real entre Pederneiras e São Carlos. O valor obtido por ela foi:

- (a) 3,2°C
- (b) 4,0°C
- (c) 5,0°C
- (d) 6,4°C
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 1. [Alternativa (c)] Podemos tratar o termômetro usado pela profa. Yvonne como um termômetro com uma outra escala. Vamos nomear essa escala como Yvonne. Nesse caso, as temperaturas medidas são 28°Y e 24°Y. A razão entre as diferenças de temperatura na escala °Y e na escala °C devem ser as mesmas, portanto:

$$\frac{\Delta Y}{Y_v - Y_g} = \frac{\Delta C}{C_g - C_v} \Rightarrow \frac{28 - 24}{88 - 8} = \frac{\Delta C}{100 - 0}$$

$$\Delta C = 100 \cdot \frac{4}{80} = \frac{40}{8} = 5$$

Portanto, a diferença de temperatura real medida pela Profa. Yvonne é 5°C.

Problema 2. Na mesma viagem anterior, a profa. Yvonne teve duas opções, ir direto de Pederneiras para São Carlos de ônibus, que viajava a uma velocidade média de 40 km/h devido às diversas paradas ou ir com uma amiga de carona de carro.

No trajeto de carro, no entanto, a amiga ainda iria passar pela cidade de Araraquara, antes de seguir para São Carlos, para fazer uma breve parada.

Considerando que o carro pode se deslocar com velocidade média de cerca de 80 km/h, quanto tempo pode durar a parada em Araraquara, no máximo, para que seja mais vantajoso ir de carro?

Dados: as distâncias entre as cidades são cerca de: Pederneiras - São Carlos (120 km), Pederneiras - Araraquara (100 km) e Araraquara - São Carlos (40 km).

- (a) 1 hora
- (b) 1 hora 15 minutos
- (c) 1 hora 45 minutos
- (d) 3 horas
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 2. [Alternativa (b)] O tempo total na estrada ao viajar de ônibus é $120 \text{ km}/40(\text{km/h}) = 3 \text{ h}$. De carro, o deslocamento total seria de 140 km e o tempo total dos deslocamentos seria $140 \text{ km}/(80 \text{ km/h}) = 1,75 \text{ h} = 1 \text{ h } 45 \text{ min}$. Nesse caso, o tempo que o carro poderia ficar parado para que a viagem ainda valesse a pena deveria ser $3 \text{ h} - 1 \text{ h } 45 \text{ min} = 1 \text{ h } 15 \text{ min}$.

Problema 3. A Profa. Yvonne Mascarenhas é reconhecida internacionalmente por seus trabalhos em cristalografia, uma área de estudos voltada para estudar as propriedades moleculares e cristalinas de materiais.

Um cristal pode ser considerado como uma estrutura composta por partículas (átomos, íons ou moléculas), organizada em um padrão repetitivo que se estende em todas as direções. Essa estrutura ordenada e as partículas que a compõem é que dão as características típicas dos cristais.

Costuma-se definir como “célula unitária primitiva” a menor unidade dessa estrutura repetida, a partir da qual todo o cristal pode ser recriado através de translações dessa célula. Na figura mostrada, está indicada uma rede cristalina conhecida como rede hexagonal. Os círculos hachurados indicam as partículas que compõem a rede.

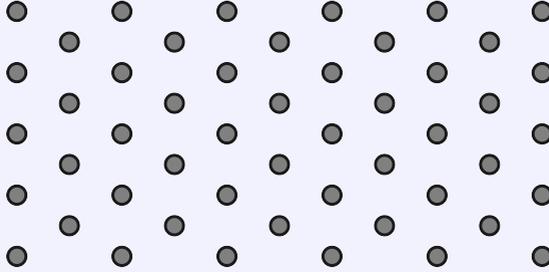


Figura 4: Exemplo de uma estrutura cristalina bidimensional hexagonal.

Dentre as imagens mostradas a seguir, aquela que melhor representa uma célula unitária primitiva para a estrutura hexagonal é:

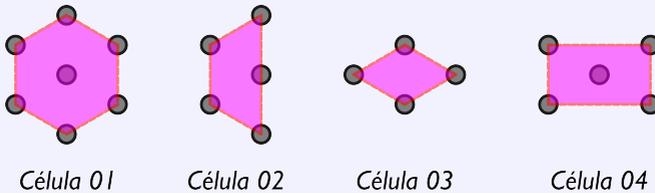


Figura 5: Células para a rede hexagonal.

- (a) Célula 01
- (b) Célula 02
- (c) Célula 03
- (d) Célula 04
- (e) Nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 3. [Alternativa (c)] As células indicadas nas figuras (a), (c) e (d) podem ser usadas para reproduzirem a rede hexagonal. Como a célula unitária primitiva deve ser a menor unidade capaz de representar toda a rede cristalina, a melhor representação dentre as alternativas é correspondente à Célula 03.

Problema 4. Em cristalografia outra propriedade importante para determinar as propriedades de um cristal é o chamado “fator de preenchimento”. Costuma-se definir como “fator de preenchimento” a razão entre a região ocupada pelas partículas que compõem uma célula primitiva e a região ocupada pela célula.

Numa idealização para o caso bidimensional para uma rede cristalina as partículas podem ser representadas como círculos e a região ocupada é correspondente à área da superfície.

Considerando uma rede retangular e a sua célula primitiva de lado ℓ indicadas na figura a seguir, qual o maior valor possível para o fator de preenchimento dessa célula?

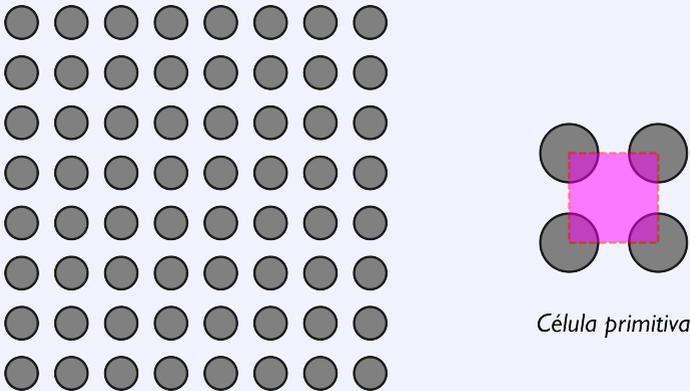


Figura 6: Rede bidimensional retangular e célula primitiva correspondente.

- (a) $\pi/4$
- (b) $4/\pi$
- (c) $1/2$
- (d) $\pi/8$
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 4. [Alternativa (a)] No caso de fator de preenchimento máximo, o raio de cada partícula é $\ell/2$, conforme mostra a figura. A área ocupada pela partícula é $a = \pi\ell^2/4$ enquanto a área da célula primitiva é $A = \ell^2$. Dessa maneira, o fator de preenchimento máximo é dado por $\pi/4$.

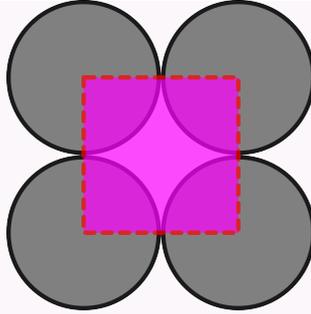


Figura 7: Célula primitiva no caso de preenchimento máximo.

Problema 5. A análise cristalográfica de estruturas baseia-se em diversos fundamentos matemáticos como a Teoria de Grupos e a Análise de Simetrias. Para isso, é preciso entender como as diversas estruturas se comportam sob transformações: rotação, inversão, reflexão entre outras.

Analise, por exemplo, a estrutura do ácido violúrico determinada pela Profa. Yvonne Mascarenhas. Suponha que essa estrutura seja colocada na frente de um espelho plano, conforme indicado na figura a seguir.

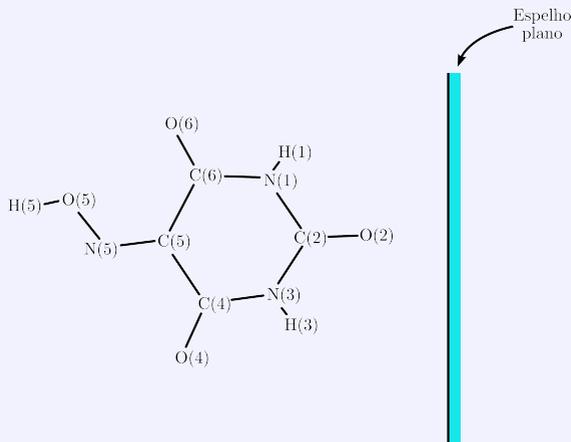


Figura 8: Estrutura do ácido violúrico.

Dentre as figuras a seguir, qual delas melhor pode representar a imagem formada pela reflexão da luz no espelho?

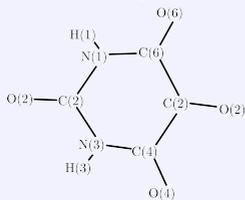


Imagem 01

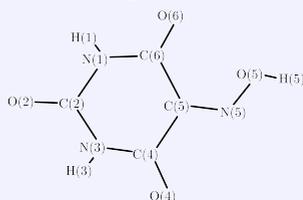


Imagem 02

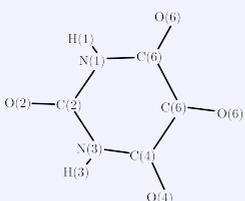


Imagem 03

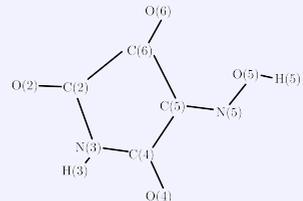


Imagem 04

Figura 9: Imagem da estrutura formada por um espelho plano.

- (a) Imagem 01
- (b) Imagem 02
- (c) Imagem 03
- (d) Imagem 04
- (e) Nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 5. [Alternativa (b)] Após a reflexão no espelho a imagem deve guardar as mesmas propriedades que o objeto, i.e. todos os átomos no objeto devem constar na imagem. Sendo assim, a imagem que melhor representa o reflexo da estrutura no espelho é a imagem 02.

Problema 6. O estudo de estruturas cristalinas é realizado por meio de diversas técnicas experimentais. Uma delas é a difração de raios-X. Nessa técnica, luz com comprimento de onda da mesma ordem da distância intermolecular incide sobre um cristal, revelando a sua estrutura.

Para gerar os raios-X, costuma-se utilizar um feixe de elétrons que é acelerado, desde o repouso, a uma grande diferença de potencial até se chocar com um alvo, liberando assim os raios-X como mostra a figura a seguir.

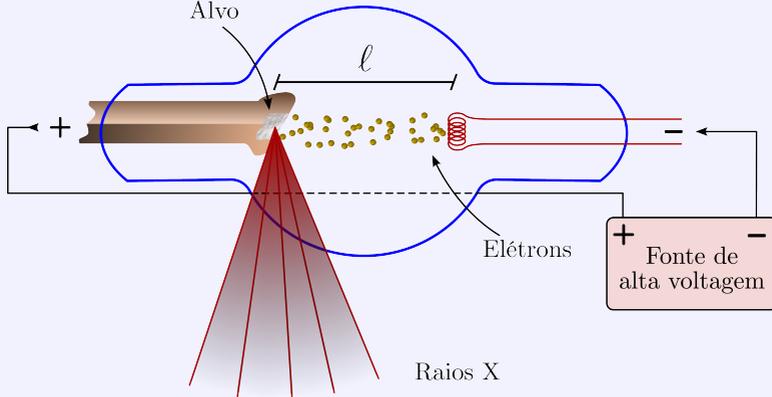


Figura 10: Ilustração de um gerador de raios X a partir de elétrons acelerados.

Suponha que atua uma força constante de módulo $4 \cdot 10^{-14}$ N, sobre cada elétron, durante o deslocamento até o alvo. Quanto tempo leva para que os elétrons atinjam o alvo? Assuma que distância entre o alvo e o local onde os elétrons partem do repouso, indicada na figura, é $\ell = 20$ cm. Considere que a massa de um elétron é $m_e = 9,0 \cdot 10^{-31}$ kg.

- (a) $3 \cdot 10^{-15}$ s
- (b) $3 \cdot 10^{-12}$ s
- (c) $3 \cdot 10^{-9}$ s
- (d) $3 \cdot 10^{-6}$ s
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 6. [Alternativa (c)] A aceleração do elétron é dada por $a = F/m_e$. Como o movimento é uniformemente acelerado, o espaço percorrido pelo elétron num intervalo de tempo Δt é dado por $\ell = a\Delta t^2/2 = F\Delta t^2/2m_e$. Sendo assim, $\Delta t^2 = 2 \cdot \ell \cdot m_e/F = 2 \cdot 0,2 \cdot 9 \cdot 10^{-31}/(4 \cdot 10^{-14}) = 9 \cdot 10^{-18}$ e, portanto, $\Delta t = 3$ ns = $3 \cdot 10^{-9}$ s.

Problema 7. O conhecimento da estrutura cristalográfica dos materiais permite estabelecer como essa organização afeta as propriedades dos materiais. A simetria de um cristal, por exemplo, pode determinar se um material exibirá ferromagnetismo, antiferromagnetismo ou outras formas de ordem magnética.

Os ímãs de neodímio que costumam ser usados em diversas aplicações no dia a dia, como em alto-falantes, fones de ouvidos, fechaduras magnéticas ou em brinquedos, apresentam uma estrutura conhecida como tetragonal.

Situação inicial

Sob a influência do ímã

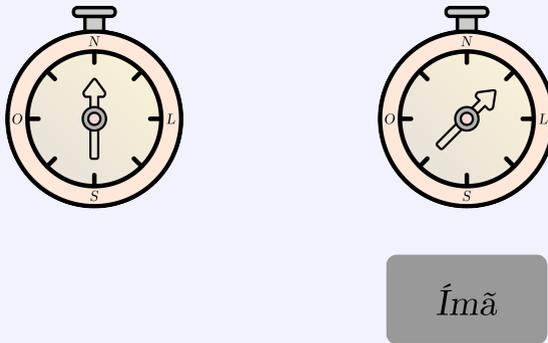


Figura 11: Ilustração de um ímã sob a influência do campo magnético da Terra na ausência e na presença de um ímã.

Para descobrir qual a orientação de um desses ímãs, suponha que você usa uma bússola que inicialmente aponta para o polo norte geográfico (NG) conforme mostra a “situação inicial” na figura anterior e depois aponta em outra direção quando colocada próxima ao ímã, conforme indicado pela situação “sob a influência do ímã”.

Qual das imagens a seguir melhor indica as linhas de campo magnético e os polos Norte (N) e Sul (S) do ímã?

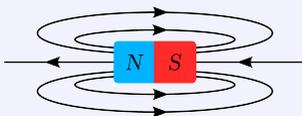


Imagem 01

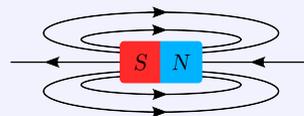


Imagem 02

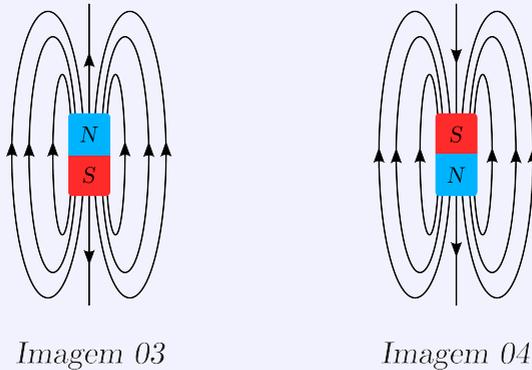


Figura 12: Ilustração das linhas de campo magnético de um ímã.

- (a) Imagem 01
- (b) Imagem 02
- (c) Imagem 03
- (d) Imagem 04
- (e) Nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 7. [Alternativa (b)] As linhas de campo magnético devem sair do polo Norte (N) e em direção ao polo Sul (S) do ímã. Além disso, o campo magnético do ímã deve se somar ao da Terra para produzir a inclinação mostrada no enunciado. Note que nas imagens 03 e 04 a direção do campo magnético resultante seria paralela ou antiparalela à inicial de maneira que o ímã não poderia estar na situação indicada no enunciado. Portanto, as linhas estão corretamente indicadas na imagem 02.

Problema 8. Dizemos que um cristal apresenta uma simetria cúbica quando as partículas que o compõem estão dispostas nos vértices de um cubo, conforme mostrado na figura a seguir. Na figura estão indicadas uma partícula A, destacada em preto, e suas seis vizinhas mais próximas (numeradas de 1 a 6).

Suponha que uma determinada substância cristalize nessa estrutura. Nessa estrutura hipotética, cada partícula apresenta uma ligação apenas com as partículas mais próximas.

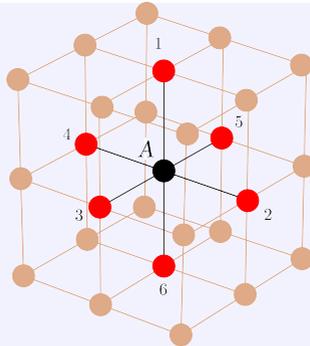


Figura 13: Ilustração de um cristal cúbico indicando os seis primeiros vizinhos de uma partícula da estrutura.

Se a distância entre as partículas mais próximas é 1 nm, o número de ligações que existe num cristal com $1 \mu\text{m}^3$ deste material é mais próximo de:

- (a) $3 \cdot 10^9$ ligações
- (b) $6 \cdot 10^9$ ligações
- (c) $8 \cdot 10^9$ ligações
- (d) $24 \cdot 10^9$ ligações
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

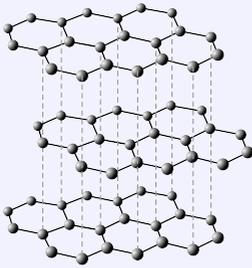
Dados: $1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ e $1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

Solução 8. [Alternativa (a)] Como o cristal tem $1 \mu\text{m}^3$, a quantidade de partículas é dada por $(1 \mu\text{m}/1 \text{ nm})^3 = (10^{-6}/10^{-9})^3 = (10^3)^3 = 10^9$. Para determinar o número de ligações, vamos desconsiderar as partículas da superfície. Neste caso, basta observar que em cada duas partículas temos seis ligações, ou seja, para cada partícula contamos $6/2 = 3$ ligações. Nesse caso, temos um total de $3 \cdot 10^9$ ligações.

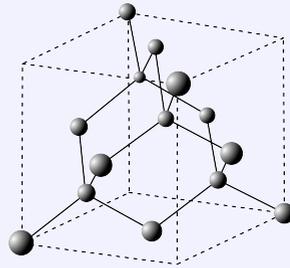
Problema 9. É costume definir as fases de um material entre gasosa, líquida e sólida. No entanto, mesmo na fase sólida devido ao arranjo cristalino das substâncias, é possível distinguir entre diversas fases com propriedades bastante diferentes.

Um exemplo comum para essa mudança nas propriedades de uma mesma substância devido aos diferentes arranjos cristalinos dos

átomos são o grafite e o diamante, formados por átomos de carbono em duas estruturas conforme mostrado na figura.



Estrutura do grafite



Estrutura do diamante

Figura 14: Estrutura cristalina do grafite e do diamante.

Suponha que uma dada substância apresenta duas fases, chamadas de fase α e fase β . Na fase α a distância média entre as partículas que compõem o cristal é $\ell_\alpha = 0,200$ nm e a densidade é dada por d_α enquanto na fase β a distância média entre as partículas é $\ell_\beta = 0,220$ nm e a densidade é d_β .

A alternativa que melhor representa a razão entre as densidades d_α e d_β é:

- (a) $d_\alpha/d_\beta = 1,10$
- (b) $d_\alpha/d_\beta = 1,21$
- (c) $d_\alpha/d_\beta = 1,33$
- (d) $d_\alpha/d_\beta = 2,22$
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 9. [Alternativa (c)] Como a densidade depende da massa e do volume, podemos inferir que $d \sim 1/\ell^3$ e, portanto, $d_\alpha/d_\beta = (\ell_\beta/\ell_\alpha)^3 = (0,220/0,200)^3 = 1,331$.

Problema 10. A estrutura cristalina dos sólidos depende diretamente das ligações químicas entre as partículas que as compõem. No entanto, fatores externos como pressão e temperatura podem alterar as propriedades dos cristais dando-lhes, por exemplo, densidades distintas.

Suponha, por exemplo, que uma amostra de massa $m = 35$ g de um cristal criado em laboratório tenha densidade $d_T = 7,0$ g/cm³ na Terra e densidade $d_L = 5,0$ g/cm³ na Lua, devido à diferença entre os valores de pressão atmosférica.

Sabendo que as acelerações gravitacionais na Terra e na Lua são dadas por, respectivamente, 10 m/s² e $1,6$ m/s², qual o valor da massa da amostra na Lua?

- (a) 0,056 N
- (b) 0,35 N
- (c) 0,056 kg
- (d) 0,035 kg
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 10. [Alternativa (d)] A massa da amostra não muda se medida na Terra ou na Lua, apenas seu peso que depende da aceleração gravitacional. Como o enunciado pede o valor da massa, esta vale 35 g = $0,035$ kg.

Problema 11. Nesse ano ocorreram as olimpíadas de verão na cidade de Paris. As mulheres brasileiras se destacaram e das 20 medalhas brasileiras, 12 foram obtidas em modalidades femininas.

Dentre alguns destaques, uma das primeiras medalhas foi obtida pela atleta Rayssa Leal, que é a brasileira mais jovem a ser medalhista olímpica. A atleta competiu na prova de “Skate Street Feminino” em que as atletas devem realizar manobras com o skate.

Numa dessas manobras, suponha que a skatista precisa atravessar uma escada com 10 degraus, cada degrau tem $d = 18$ cm de altura e $L = 30$ cm de comprimento (veja a figura).

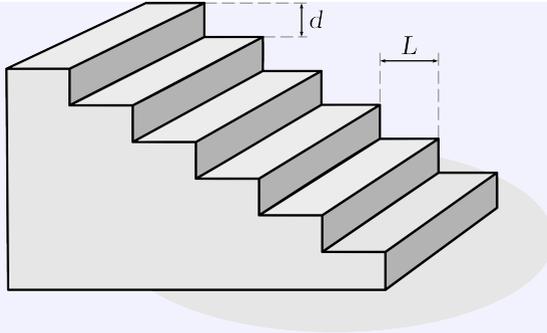


Figura 15: Ilustração das dimensões de uma escada.

Nessa situação, a menor velocidade horizontal que irá garantir que a atleta precisa ter para conseguir saltar a escada é mais próxima de:

- (a) 5,0 m/s
- (b) 2,5 m/s
- (c) 1,7 m/s
- (d) 0,25 m/s
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Dado: assuma que a aceleração gravitacional local é $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Solução 11. [Alternativa (a)] O problema ilustra uma situação que pode ser tratada como um lançamento horizontal. Durante o deslocamento da atleta, ela deverá percorrer uma distância horizontal $\Delta S = 10 \cdot 0,3 = 3,0 \text{ m}$ enquanto cai de uma altura $h = 10 \cdot 0,18 = 1,8 \text{ m}$. O tempo de queda é dado por $\Delta t = \sqrt{2 \cdot h/g} = \sqrt{2 \cdot 1,8/10} = \sqrt{0,36} = 0,6 \text{ s}$. A velocidade horizontal necessária é, portanto, $v = \Delta S/\Delta t = 3,0/0,6 = 5,0 \text{ m/s}$.

Problema 12. As três medalhas de ouro alcançadas por atletas brasileiros na edição 2024 dos jogos olímpicos foram feitas femininos. A primeira delas veio da lutadora de judô Beatriz Souza.

O judô é um esporte no qual mesmo com força física inferior ao oponente, uma atleta pode vencer a luta com a aplicação precisa das técnicas empregadas nessa luta.

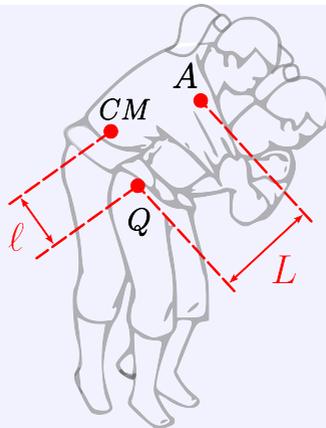


Figura 16: Ilustração do Uchi Mata, golpe usado no Judô.

Um dos golpes que pode ser utilizado nesta luta é o “Uchi Mata”, ilustrado na figura, e no qual uma atleta usa o próprio quadril como apoio e as pernas para varrer o adversário e derrubá-lo.

Sobre esta situação, é correto afirmar:

- A atleta que executa o golpe não está sujeita a nenhuma força externa, uma vez que ela permanece em repouso durante o golpe.
- A energia química armazenada no corpo da atleta se transforma em energia potencial e cinética durante a execução do golpe.
- Para aplicar a alavanca utilizada no golpe, a atleta precisa exercer, necessariamente, uma força duas vezes maior que o peso da adversária.
- Não há transformação de energia durante a execução do golpe, uma vez que a energia é conservada em todos os processos.
- Nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 12. [Alternativa (b)] Consideremos as afirmativas para cada item.

- Falsa: apesar de estar em repouso durante o golpe, a atleta está sujeitas às forças peso, normal de contato com o solo bem como às forças de contato com a sua oponente.

- (b) Verdadeira.
- (c) Falsa: é preciso analisar minuciosamente a situação para determinar a intensidade de força necessária para a execução do golpe.
- (d) Falsa: mesmo num sistema no qual há conservação da energia total, é possível que uma forma de energia se transforme em outra.

Problema 13. A segunda medalha de ouro obtida pela delegação brasileira nas Olimpíadas Paris foi conquistada pela ginasta Rebeca Andrade.

Um dos momentos mais esperados durante a apresentação no solo, modalidade em que a atleta é especialista e na qual obteve a medalha de ouro, a atleta executa duas voltas nos cerca de 1,5 s de duração do salto.

Qual a menor velocidade angular da atleta (em rpm, rotações por minuto) que lhe permite realizar esta acrobacia?

- (a) 3 rpm
- (b) 32 rpm
- (c) 60 rpm
- (d) 80 rpm
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 13. [Alternativa (b)] As duas voltas completas (rotações) foram realizadas em 1,5 s, portanto, a velocidade angular é dada por $\omega = 2 \text{ rotações}/1,5 \text{ s} = 4/3 \text{ rps}$. Como há 60 s em 1 minuto, a velocidade angular, medida em rpm, é 60 vezes maior que aquela medida em rps (rotações por segundo) e, portanto, $\omega = 60 \cdot 4/3 = 80 \text{ rpm}$.

Problema 14. A terceira medalha de ouro brasileira nas Olimpíadas de Paris foi atingida pelas atletas Duda e Ana Patrícia no vôlei de praia.

Essa competição costuma ocorrer durante o dia e a temperatura da areia na quadra pode, facilmente, superar os 40°C. Já durante a noite, a temperatura costuma diminuir e se assemelhar à temperatura ambiente.

Qual dos itens a seguir pode explicar melhor como a areia atinge

essas altas temperaturas durante o dia?

- (a) A areia recebe luz do Sol, que conduz calor por convecção e é armazenada na areia.
- (b) A energia fornecida pela atmosfera da Terra através dos processos de convecção é responsável pela maior temperatura da areia com relação ao ar durante o dia.
- (c) A energia recebida pelo Sol através da radiação luminosa associada ao baixo calor específico da areia lhe permitem atingir temperaturas mais altas que o ar.
- (d) A temperatura mais alta da areia durante o dia pode ser explicada porque o calor armazenado durante a noite é liberado para aquecê-la por um processo conhecido como condução térmica.
- (e) Nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 14. [Alternativa (c)] Consideremos as afirmativas para cada item.

- (a) Falsa: a luz do Sol transmite energia através de um processo conhecido como irradiação.
- (b) Falsa: esse processo não consegue explicar o maior valor de temperatura da areia, para isso seria necessário que o ar estivesse a uma temperatura mais alta, o que não é o caso geral.
- (c) Verdadeira.
- (d) Falsa: o calor não fica armazenado na areia, por este motivo ele não pode é usado no dia seguinte para aquecer a areia.

Problema 15. Chegando ao fim dessa jornada, é preciso recuperar as energias, nada como uma bela xícara de café.

O café precisa ser tomado na temperatura certa para ser apreciado da melhor forma, nem muito frio, muito menos muito quente.



Figura 17: Café para animar!

Algumas características do café são bastante parecidas com as da água. Assuma, por exemplo, que a sua densidade é $\rho = 1,0 \text{ g/ml}$ e o seu calor específico $c = 4,0 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$.

Supondo que uma xícara de café com 100 ml e inicialmente a 60°C , perde calor a uma taxa constante de 10 J/s , quanto tempo irá levar para atingir a temperatura de 45°C ?

- (a) 3 min
- (b) 5 min
- (c) 10 min
- (d) 12 min
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 15. [Alternativa (c)] A taxa com que o café perde calor indica o quanto de calor sai do café por unidade de tempo. Nesse caso, essa taxa pode ser escrita como $P = \Delta Q/\Delta t$ e, portanto, $\Delta t = \Delta Q/P = m \cdot c \cdot \Delta T/P$ é o tempo que ele leva para resfriar. Utilizando os valores do enunciado temos $\Delta t = 100 \cdot 4,0 \cdot 15/10 = 600 \text{ s} = 10 \text{ min}$.



1ª fase do TFM

Nível B - Ensino Médio



Problema 1. Hoje você está fazendo essa prova com o auxílio de uma tela de computador, tablet ou celular, mas nem sempre foi assim. Há algum tempo uma tecnologia utilizada para projetar imagens era o retroprojetor. Um esquema simplificado consiste em uma caixa onde é colocada uma folha de papel transparente (transparência) que é iluminada. A luz, passa por uma lente e por um espelho plano e então projeta uma imagem impressa no papel sobre uma tela, veja a figura a seguir.

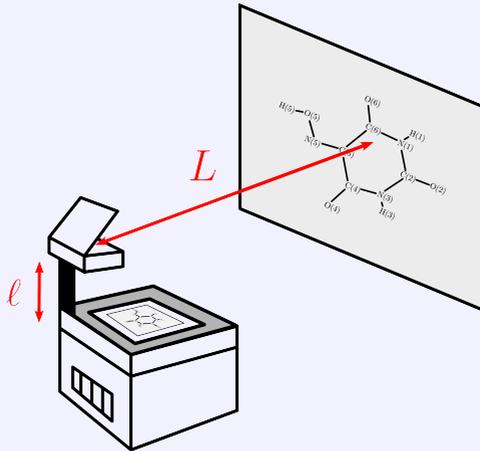


Figura 18: Retroprojetor utilizado para apresentações.

Na figura está representada a estrutura do Ácido Violúrico, determinada pela professora Yvonne Mascarenhas, uma referência internacional na área de cristalografia.

Considere que numa determinada apresentação, a Profa. Yvonne utilizou uma folha de papel a uma distância $\ell = 15$ cm da lente do retroprojetor, que está a uma distância $L = 1,35$ m da tela de projeção. A distância focal f da lente é cerca de:

- (a) $f = 1,24$ cm
- (b) $f = 13,5$ cm
- (c) $f = 120$ cm
- (d) $f = 1,24$ m
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 1. [Alternativa (b)] Como o espelho é plano, a imagem formada por ele está à mesma distância L da lente. Nesse caso, podemos usar a equação dos pontos conjugados em que a distância do objeto à lente é ℓ . Utilizando todas as distâncias em cm, temos

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\ell} + \frac{1}{L} = \frac{1}{15} + \frac{1}{135}$$

$$\Rightarrow f = \frac{15 \cdot 135}{15 + 135} = \frac{135}{10}$$

E, portanto, $f = 13,5$ cm.

Problema 2. A Profa. Yvonne Mascarenhas é uma cientista reconhecida internacionalmente por seus trabalhos em cristalografia, uma área de estudos voltada para estudar as propriedades moleculares e cristalinas de materiais.

Um cristal pode ser considerado como uma estrutura composta por partículas (átomos, íons ou moléculas) organizada em um padrão repetitivo que se estende em todas as direções. Essa estrutura ordenada e as partículas que a compõem é que dão as características típicas dos cristais.

Costuma-se definir como “célula unitária primitiva” a menor unidade dessa estrutura repetida a partir da qual todo o cristal pode ser recriado através de translações dessa célula. Na figura mostrada, está indicada uma rede cristalina conhecida como rede hexagonal. Os círculos hachurados indicam as partículas que compõem a rede.

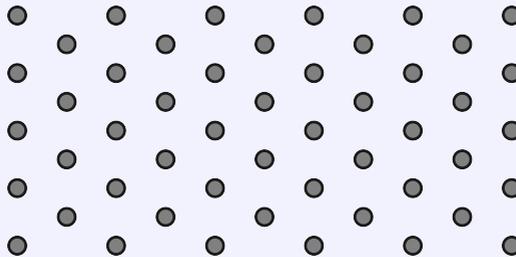


Figura 19: Exemplo de uma estrutura cristalina bidimensional hexagonal.

Dentre as imagens mostradas a seguir, aquela que melhor representa uma célula unitária primitiva para a estrutura hexagonal é:

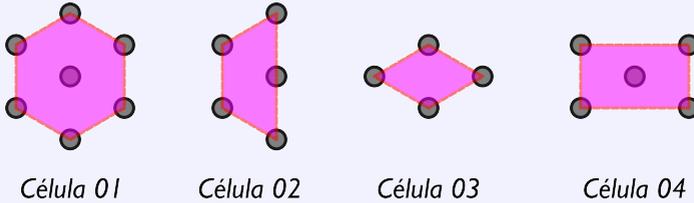


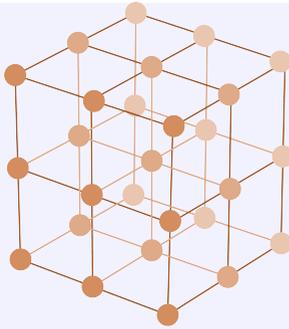
Figura 20: Células para a rede hexagonal.

- (a) Célula 01
- (b) Célula 02
- (c) Célula 03
- (d) Célula 04
- (e) Nenhuma das alternativas anteriores.

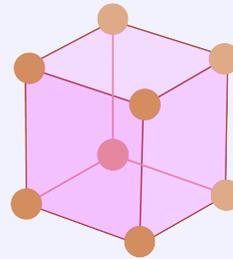
Solução 2. [Alternativa (c)] As células indicadas nas figuras (a), (c) e (d) podem ser usadas para reproduzir a rede hexagonal. Como a célula unitária primitiva deve ser a menor unidade capaz de representar toda a rede cristalina, a melhor representação dentre as alternativas é correspondente à Célula 03.

Problema 3. Em cristalografia outra propriedade importante para determinar as propriedades de um cristal é o chamado “fator de preenchimento”. Costuma-se definir como “fator de preenchimento” a razão entre a região ocupada pelas partículas dentro de uma célula primitiva e a região ocupada pela célula.

Considerando o caso de uma rede cristalina cúbica, na qual a célula unitária primitiva consiste de cubos de lado a com uma partícula esférica em cada vértice, conforme indicadas na figura a seguir, qual o maior valor possível para o fator de preenchimento dessa célula?



Rede cristalina cúbica



Célula cúbica primitiva

Figura 21: Rede cúbica simples e célula primitiva correspondente.

- (a) $\pi/3$
- (b) $4/\pi$
- (c) $\pi/2$
- (d) $\pi/6$
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 3. [Alternativa (d)] No caso de fator de preenchimento máximo, o raio de cada partícula é $r = a/2$, conforme mostra a figura. O volume ocupado pelas partículas dentro da célula é $V = 4\pi(a/2)^3/3$ enquanto o volume da célula primitiva é $V_0 = a^3$. Dessa maneira, o fator de preenchimento máximo é dado por $V/V_0 = 4\pi(1/2)^3/3 = \pi/6$.

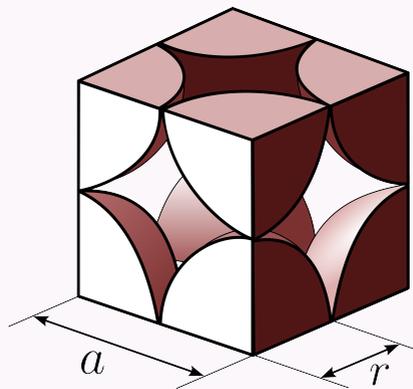


Figura 22: Célula primitiva no caso de preenchimento máximo.

Problema 4. É bastante comum tratarmos dos estados da matéria como sólido, líquido ou gasoso. No entanto, com o conhecimento mais profundo sobre as propriedades dos materiais, podemos descrever materiais no estado sólido em diferentes “fases cristalinas”, i.e. um mesmo material pode apresentar diferentes propriedades macroscópicas como densidade, calor específico, condutividade elétrica, coeficiente de elasticidade dentre outras.

A transição de fases cristalinas pode ser induzida de diversas formas, por exemplo, modificando a temperatura ou a pressão que age sobre o cristal. Um exemplo desse tipo de transição é a transição do Fe de uma estrutura cúbica de corpo centrado (CCC) para uma estrutura cúbica de face centrada (CFC) que ocorre a cerca de 910°C em pressão ambiente.

Considere, por exemplo, o caso da transição de um certo material de uma fase sólida α para outra fase, também sólida, β . Uma amostra com 50 g do material é continuamente aquecida por uma fonte de calor com potência de 120 W. A temperatura da amostra como função do tempo é dada no gráfico da figura a seguir.

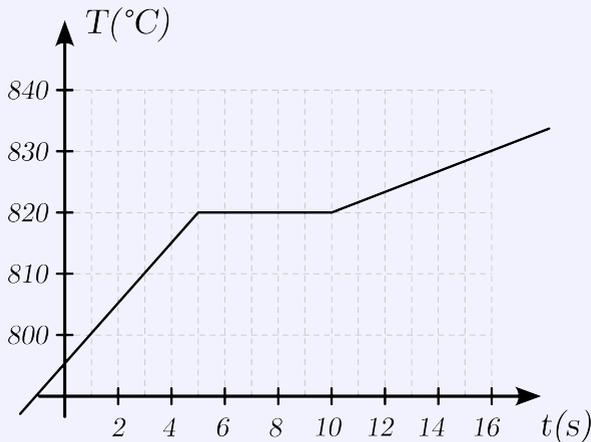


Figura 23: Temperatura de uma amostra sólida como função do tempo.

Qual item melhor indica o valor do calor latente associado a

essa mudança de estrutura da amostra?

- (a) 0,16 J/g
- (b) 2,4 J/g
- (c) 12 J/g
- (d) 14,4 J/g
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 4. [Alternativa (c)] De acordo com o gráfico, pode-se identificar a transição de fase ocorrendo à temperatura $T = 820^{\circ}\text{C}$ uma vez que não há mudança de temperatura durante a transição de fase. O calor fornecido à amostra é o suficiente para produzir a mudança de fase e portanto $Q = P \cdot \Delta t = m \cdot L$, ou seja, $L = P \cdot \Delta t/m = 120 \cdot 5/50 = 12,0 \text{ J/g}$.

Problema 5. Um dos grandes avanços ocorrido no início do século XX e que propiciou o desenvolvimento da área de cristalografia foi o uso de técnicas como a difração de raios X. A descoberta desses raios resultou na entrega do primeiro prêmio Nobel de Física em 1901 a Wilhelm Röntgen.

Hoje sabemos que esses raios consistem de radiação eletromagnética de grande energia, constituída de fótons com energia dada por $E = hc/\lambda$ em que λ é o comprimento de onda associado aos fótons.

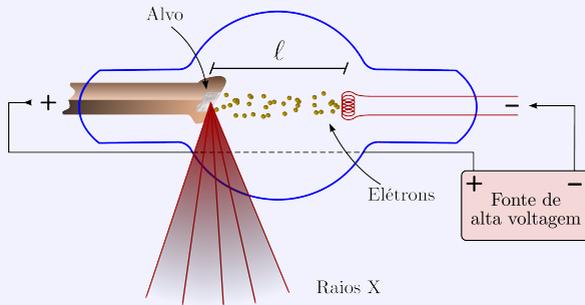


Figura 24: Ilustração de um gerador de raios X a partir de elétrons acelerados.

A figura acima ilustra uma possível maneira de gerar raios X, na qual um feixe de elétrons acelerados por uma grande diferença de

potencial colide com um alvo e como resultado produz essa radiação característica.

Considerando um sistema como o mostrado na figura no qual elétrons são acelerados a uma diferença de potencial 44 kV, qual das afirmativas a seguir melhor descreve os raios X produzidos na colisão do elétron com o alvo? Desconsidere quaisquer efeitos relativísticos.

- (a) Os raios X produzidos terão comprimento de onda de, no máximo, $4,5 \cdot 10^{-12}$ m.
- (b) Os raios X produzidos terão comprimento de onda de, no máximo, $4,5 \cdot 10^{-9}$ m.
- (c) Os raios X produzidos terão comprimento de onda de, no mínimo, $4,5 \cdot 10^{-12}$ m.
- (d) Os raios X produzidos terão comprimento de onda de, no mínimo, $4,5 \cdot 10^{-9}$ m.
- (e) Nenhuma das alternativas anteriores.

Dados: constante de Planck - $h = 6,6 \cdot 10^{-16}$ eV·s, velocidade da luz - $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e massa do elétron - $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg $\approx 5,1 \cdot 10^5$ eV/c².

Solução 5. [Alternativa (c)] No caso extremo, toda a energia cinética adquirida pelos elétrons durante a aceleração será convertida na energia de um fóton. Portanto, $E_{\text{fóton}} \leq E_{c,\text{elétron}}$ e $hc/\lambda \leq E_c \Rightarrow \lambda \geq hc/E_c$. Substituindo os valores do enunciado $\lambda \geq 6,6 \cdot 10^{-16} \cdot 3 \cdot 10^8 / 44 \cdot 10^3$ m = $4,5 \cdot 10^{-12}$ m. Este é, portanto, o menor comprimento de onda dos raios X produzidos.

Problema 6. Por se tratar de um tipo de radiação importante para analisar a estrutura dos materiais, a produção de feixes de raios X é de grande importância para a ciência básica como na indústria.

O Brasil abriga uma das mais avançadas fontes de radiação desse tipo, o Laboratório Nacional de Luz Síncronon (LNLS) que produz radiação desde o infravermelho até o espectro dos raios X.

A produção de radiação parte da aceleração de elétrons a altíssimas velocidades através de uma trajetória circular mantida por campos eletromagnéticos. No LNLS os elétrons chegam

a atingir uma velocidade que é 99,99999986% da velocidade da luz - c .

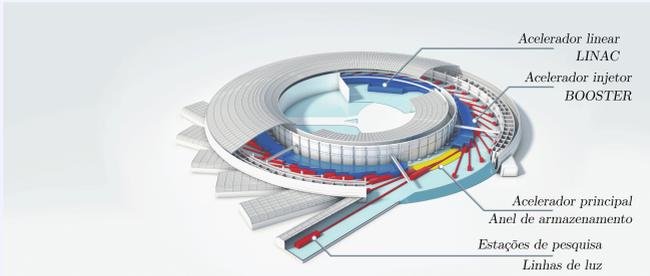


Figura 25: Ilustração das linhas luz do LNSL.

Fonte: Adaptada de <https://lnsl.cnpem.br/sirius-en/>

Assumindo que num sistema desse tipo, os elétrons são acelerados até a velocidade máxima atingida no LNSL numa trajetória circular de raio 50 m, qual dos itens a seguir melhor indica a quantidade de voltas esses elétrons dão por segundo (Adote $c = 3 \cdot 10^8$ m/s):

- (a) 950 mil de voltas por segundo
- (b) 1,9 milhões de voltas por segundo
- (c) 3,0 milhões de voltas por segundo
- (d) 6,0 milhões de voltas por segundo
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 6. [Alternativa (a)] Como os elétrons se movem com uma velocidade próxima à da luz, podemos assumir que sua velocidade é c . O tempo para uma volta é dado por $T = 2\pi R/c$ e, portanto, a frequência de movimento é dada por $f = c/2\pi R = 3 \cdot 10^8/2\pi 50 \approx 95 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$.

Problema 7. Para produzir os raios X, os elétrons são desviados por fortes campos magnéticos e como resultado desse desvio emitem radiação eletromagnética.

Por se tratarem de elétrons com velocidades próximas à da luz, os efeitos relativísticos precisam ser levados em consideração. A energia dos elétrons é dada pela expressão $E = \gamma E_0$, em que $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ é o fator de Lorentz que depende da velocidade v dos

elétrons e da velocidade da luz c . O parâmetro $E_0 \approx 510$ keV é a energia de repouso do elétron.

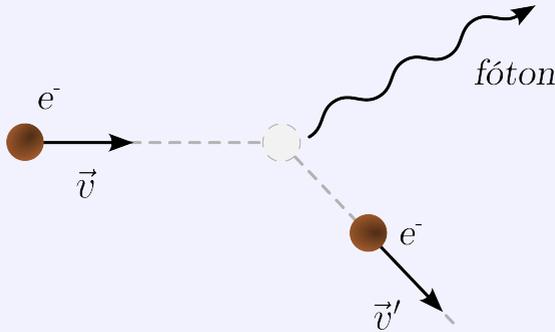


Figura 26: Desvio de um elétron e criação de um fóton induzida por um campo externo.

Assuma que os elétrons produzidos tem um fator de Lorentz $\gamma = 1000$ e num desses desvios um elétron produz um fóton de raio X com energia $\varepsilon = 51$ keV, qual dos itens a seguir melhor representa o módulo da variação de velocidade do elétron ao produzir o raio X?

- (a) $300 \mu\text{m/s}$
- (b) 3 cm/s
- (c) 3 m/s
- (d) 300 m/s
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Dados: $1 \text{ eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, velocidade da luz - $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Solução 7. [Alternativa (b)] A energia do fóton corresponde à uma variação de energia do elétron. Temos $\varepsilon = \gamma E_0 - \gamma' E_0 = \delta(\gamma) E_0$. Veja que:

$$\begin{aligned} \delta(\gamma) &= \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 - v'^2/c^2}} \\ &= \frac{\sqrt{1 - v'^2/c^2} - \sqrt{1 - v^2/c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2} \sqrt{1 - v'^2/c^2}} \cdot \frac{\sqrt{1 - v'^2/c^2} + \sqrt{1 - v^2/c^2}}{\sqrt{1 - v'^2/c^2} + \sqrt{1 - v^2/c^2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta(\gamma) &= \frac{(1 - v'^2/c^2) - (1 - v^2/c^2)}{\sqrt{1 - v^2/c^2} \sqrt{1 - v'^2/c^2} (\sqrt{1 - v'^2/c^2} + \sqrt{1 - v^2/c^2})} \\ &= \frac{(v^2 - v'^2)/c^2}{(1 - v'^2/c^2) \sqrt{1 - v^2/c^2} + (1 - v^2/c^2) \sqrt{1 - v'^2/c^2}} \\ &\approx \frac{(v + v')(v - v')/c^2}{2(1 - v^2/c^2)^{3/2}} = \frac{1}{(1 - v^2/c^2)^{3/2}} \frac{\delta v}{c} = \gamma^3 \frac{\delta v}{c} \end{aligned}$$

em que usamos $v, v' \approx c$ quando pertinente. Sendo assim $\varepsilon \approx \gamma^3 E_0 \delta v / c$ e, portanto, $\delta v = (\varepsilon / \gamma^3 E_0) c$. Substituindo os valores do enunciado $\delta v = (51/510) \cdot (3 \cdot 10^8 / 10^9) = 3 \cdot 10^{-2}$ m/s, ou $\delta v = 3$ cm/s.

Problema 8. Durante um breve intervalo de tempo um campo magnético é acionado e são produzidos raios X numa das linhas do LNLS. Nesse intervalo de tempo foi medida a potência da radiação emitida, que tem comprimento de onda $\lambda_X = 0,198 \text{ \AA}$. Como resultado obteve-se o gráfico mostrado na figura a seguir.

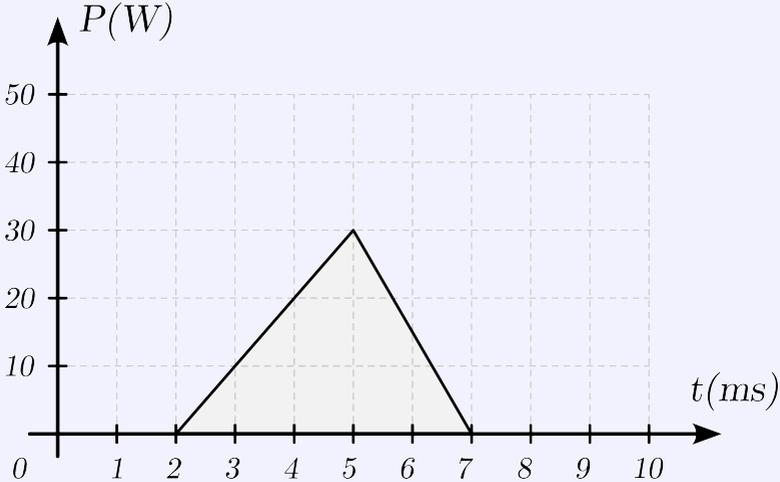


Figura 27: Potência da radiação de raios X em função do tempo.

Supondo que para cada elétron desviado no feixe é produzido um fóton com o comprimento λ_X , a corrente elétrica média que circula no acelerador é melhor representada por:

- (a) 5,0 mA
- (b) 3,5 mA
- (c) 2,0 mA
- (d) 1,5 mA
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Dados: carga do elétron - $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, constante de Planck - $h = 6,6 \cdot 10^{-16}$ eV·s, velocidade da luz - $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ m.

Solução 8. [Alternativa (d)] Como cada fóton tem comprimento de onda λ_X , a energia de cada um é dada por $\varepsilon = hc/\lambda_X$. A energia total E produzida pelo feixe pode ser obtida a partir da área do gráfico de potência como função do tempo. Por se tratar de um triângulo de base Δt e altura P temos $E = P\Delta t/2$. Como para cada elétron é emitido um fóton, o número de elétrons no feixe é dado por $N = E/\varepsilon = E\lambda_X/hc$ e a corrente elétrica média no período em que o feixe está sendo desviado é $i = \Delta Q/\Delta t = Ne/\Delta t = eE\lambda_X/hc\Delta t = eP\lambda_X/2hc$. Substituindo os valores dados no enunciado obtemos $E = e$, portanto, $i = 30 \cdot 1,98 \cdot 10^{-11}/2 \cdot 6,6 \cdot 10^{-16} \cdot 3,0 \cdot 10^8$ o que nos dá $i = 0,015 \text{ A} = 1,5 \text{ mA}$.

Problema 9. O uso de raios X para a determinação da estrutura dos materiais foi possível devido ao seu uso utilizando um fenômeno conhecido como difração. Nesse tipo de fenômeno, um raio luminoso é espalhado por um obstáculo em diferentes direções do espaço. Acontece que a distância entre as partículas que compõem a estrutura cristalina dos materiais é da mesma ordem de grandeza dos raios X. Foram essas observações que deram ao cientista Max von Laue o prêmio Nobel de 1914.

Por se tratar de uma onda eletromagnética, o espalhamento dos raios X por partículas que compõem a estrutura cristalina dos materiais pode produzir interferência construtiva ou destrutiva. Esses padrões de interferência são característicos da distância d entre os planos cristalinos sobre os quais estão dispostas as partículas que

compõem o material e os máximos de interferência são dados pela equação de Bragg: $n\lambda = 2d\text{sen}\theta$. Nessa equação, $n = 1, 2, 3, \dots$ é um número natural que indica a ordem do máximo de interferência, λ é o comprimento de onda do raio X e θ é o ângulo de incidência/observação para o qual os raios sofrerão interferência construtiva (veja a figura).

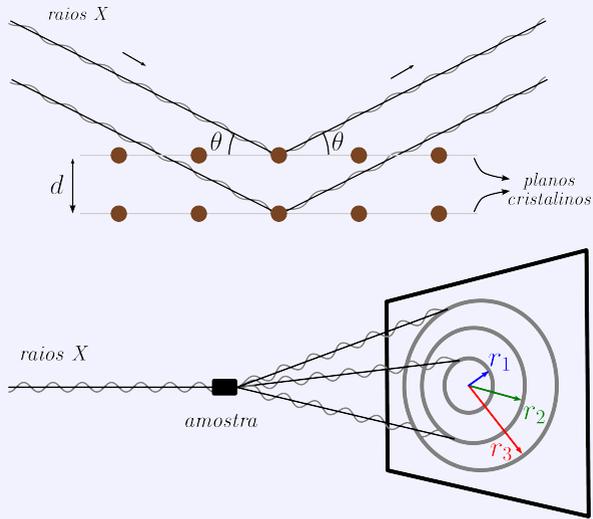


Figura 28: Difração de Bragg em cristais.

A figura anterior mostra um esquema em que um pó de material cristalino desconhecido é bombardeado por raios X com comprimento de onda $\lambda = 0,65 \text{ \AA}$. Como resultado se formam anéis circulares brilhantes numa tela a uma distância $L = 10 \text{ cm}$ da amostra. Os raios dos primeiros anéis medidos são: $r_1 = 10,5 \text{ mm}$, $r_2 = 19,8 \text{ mm}$ e $r_3 = 30,2 \text{ mm}$. Qual dos valores a seguir melhor representa a distância entre os planos cristalinos do cristal desconhecido?

- (a) $2,3 \text{ \AA}$
- (b) $3,2 \text{ \AA}$
- (c) $6,6 \text{ \AA}$
- (d) $9,8 \text{ \AA}$
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Dado: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$.

Solução 9. [Alternativa (b)] Como os raios r são muito menores que a distância L , podemos obter $\text{sen}\theta \approx r/L$. Cada um dos raios dos anéis que indicam interferência construtiva permitem obter um valor de distância entre os planos do cristal através da fórmula de Bragg, ou seja, $d = n \cdot \lambda/2 \text{sen}\theta = n \cdot \lambda \cdot L/2r$. Os diferentes valores de r são correspondentes a $n = 1, 2, 3$ e, os valores de d para cada medida são $d_1 = \lambda \cdot L/2r_1$, $d_2 = 2\lambda \cdot L/2r_2$ e $d_3 = 3\lambda \cdot L/2r_3$. Substituindo os valores na equação obtida temos: $d_1 = 3,10 \text{ \AA}$, $d_2 = 3,28 \text{ \AA}$ e $d_3 = 3,23 \text{ \AA}$. O valor mais próximo destes obtidos é $3,2 \text{ \AA}$ correspondente ao item (b).

Problema 10. Além de ser uma cientista de grande renome internacional, a Professora Yvonne Mascarenhas também é uma amante da música. Durante a década de 90 ela coordenou um movimento de música erudita da Fundação Theodoretto Souto.

Como forma de ilustrar a conexão da física com a música, considere o exemplo de um violão. Esse instrumento se baseia na produção de som a partir da vibração de uma corda. Considere o diagrama a seguir que mostra as partes principais de um violão.

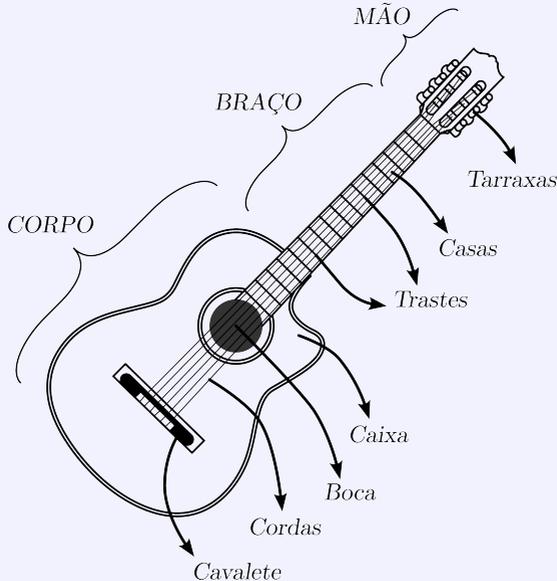


Figura 29: Partes de um violão.

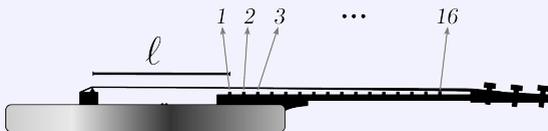
Sobre a formação do som no violão, é correto afirmar que:

- (a) O corpo do violão é constituído pela caixa que permite que o som sofra um processo de ressonância, dando assim maior projeção que pode ser ouvida a maiores distâncias.
- (b) As cordas de aço em um violão produzem um som mais metálico que as cordas de nylon, o que permite atingir mais notas musicais.
- (c) Ao utilizar as tarraxas é possível alterar a tração na corda do violão, modificando assim a densidade linear de massa das cordas, o que produzirá diferentes sons.
- (d) O processo de amplificação do som, conhecido como batimentos, é realizado no corpo do violão, em sua caixa. Esse processo é o resultado da vibração construtiva do ar induzido pelas cordas.
- (e) Nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 10. [Alternativa (a)] Consideremos as afirmativas para cada item.

- (a) Verdadeira.
- (b) Falsa: as notas musicais atingidas não dependem exclusivamente do material do qual é feita a corda do violão.
- (c) Falsa: ao utilizar a variação na sua densidade linear pode ser desprezada, o efeito da mudança na nota musical é mais proeminente devido à variação de tração na corda produzida pela tarraxa.
- (d) Falsa: o processo de amplificação é conhecido como ressonância.

Problema 11. Ao pinçar as cordas de um violão podem ser produzidos diferentes sons, para isso são usados os “trastes”. A figura a seguir indica as dimensões de um violão. Considere que a distância entre dois trastes vizinhos é sempre a mesma, e cerca de 3 cm, e que a distância do cavalete ao primeiro traste é $\ell = 23$ cm.



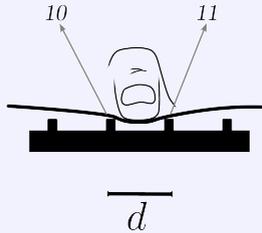


Figura 30: Ilustração do uso de um violão.

Ao pressionar uma corda entre os trastes 10 e 11 a frequência emitida é 440 Hz. Onde deve-se pressionar a mesma corda para que seja emitida uma frequência de aproximadamente 500 Hz?

- (a) entre os trastes 6 e 7.
- (b) entre os trastes 8 e 9.
- (c) entre os trastes 12 e 13.
- (d) entre os trastes 14 e 15.
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 11. [Alternativa (b)] Podemos considerar que a frequência sonora emitida é aquela do modo fundamental de oscilação da corda. No modo fundamental o comprimento de onda é dado por $\lambda = 2L$, em que L é o comprimento da corda entre o cavalete e o traste mais próximo (corda presa nas duas extremidades). A velocidade da onda é dada por $v = \lambda f = 2L \cdot f$. Como a velocidade só depende da tração na corda (que não muda ao pressionar a corda) e da sua densidade, ela é a mesma em todos os casos. Dessa maneira, podemos fazer $L_1 \cdot f_1 = L_2 \cdot f_2$. Pelo diagrama do enunciado o comprimento livre da corda é dado por $L_k = [\ell + d \cdot (k - 1)] = (20 + 3 \cdot k)$ cm, em que k indica o k -ésimo traste (mais próximo do cavalete). Para a frequência de 440 Hz temos $k = 10$ e, portanto, $L_{10} = 50$ cm. Para determinar o traste m correspondente à frequência 500 Hz basta resolver a equação $50 \cdot 440 = (20 + 3 \cdot m) \cdot 500 \Rightarrow m = 8$.

Problema 12. Numa orquestra diversos instrumentos musicais são utilizados para produzir melodias harmoniosas. Cada instrumento tem características que lhes conferem sons únicos. Independente da maneira como cada instrumento produz som, seja ele a partir de

teclas, cordas, membranas etc nós os escutamos através das ondas de compressão e rarefação produzidas no ar. Essas ondas tem como características uma variação da pressão do ar ao longo do tempo.

Na figura a seguir são dados o gráfico da variação de pressão medida para dois instrumentos musicais distintos.

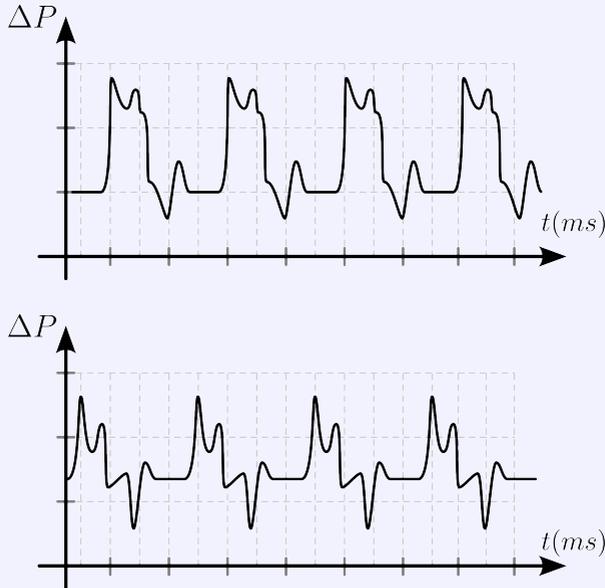


Figura 31: Amplitude de pressão sonora produzida por instrumentos musicais diferentes.

Sobre os sons produzidos por esses instrumentos é correto afirmar que:

- Os dois instrumentos estão emitindo as mesmas notas musicais (frequências), mas têm timbres distintos.
- Os dois instrumentos estão emitindo as mesmas notas musicais (timbres), mas têm frequências distintas.
- Os dois instrumentos estão emitindo as mesmas frequências (timbres), mas têm notas musicais diferentes.
- Os dois instrumentos estão emitindo as mesmas notas musicais em mesmo timbre e frequência.
- Nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 12. [Alternativa (a)] Consideremos as afirmativas para cada item.

- (a) Verdadeira.
- (b) Falsa: as notas musicais correspondem à frequência do som.
- (c) Falsa: as notas musicais correspondem à frequência do som.
- (d) Falsa: as notas musicais são as mesmas já que os pulsos sonoros ocorrem em intervalos de tempos iguais, mas têm timbres diferentes por serem pulsos com formas distintas.

Problema 13. Nesse ano ocorreram as olimpíadas de verão na cidade de Paris. As mulheres brasileiras se destacaram e das 20 medalhas brasileiras, 12 foram obtidas em modalidades femininas.

As três medalhas de ouro alcançadas por atletas brasileiros na edição 2024 dos jogos olímpicos foram feitas femininas. A primeira delas veio da lutadora de judô Beatriz Souza.

O judô é um esporte no qual mesmo com força física inferior ao oponente, uma atleta pode vencer a luta com a aplicação precisa das técnicas empregadas nessa luta.

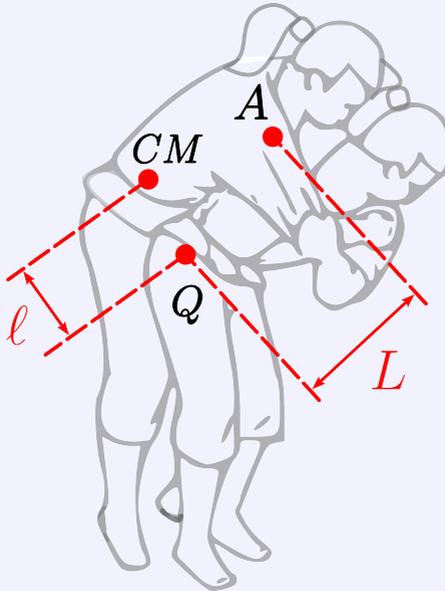


Figura 32: Diagrama esquemático da aplicação de um golpe de judô.

Na figura anterior está ilustrada a aplicação de um golpe na qual uma atleta usa o próprio quadril como apoio (ponto Q). As dimensões estão indicadas na figura; a distância entre Q e o centro de massa (CM) da oponente é $\ell = 20$ cm e a distância de Q até o ponto de aplicação da força (A) para a execução do golpe é $L = 50$ cm. A massa da atleta que está sofrendo o golpe é $M = 80$ kg.

Sobre esta situação, a menor força que deve ser aplicada pela atleta para conseguir executar o golpe é dada por aproximadamente:

- (a) 320 N
- (b) 400 N
- (c) 480 N
- (d) 2000 N
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Dado: Assuma que a aceleração gravitacional local é $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Solução 13. [Alternativa (a)] Para conseguir executar o golpe o torque produzido pela atleta em torno do ponto Q deve ter a mesma intensidade do torque do peso da oponente com relação ao mesmo ponto. Sendo assim, $Mg\ell \cos \theta = FL$ em que θ é o ângulo que a linha que une o CM da atleta ao ponto Q com relação à horizontal. No caso extremo, é necessária uma força de, no mínimo, $F = Mg\ell/L$ para iniciar o golpe. Substituindo os dados do enunciado $F_{\min} = 80 \cdot 10 \cdot 20/50 = 320$ N.

Problema 14. A segunda medalha de ouro obtida pela delegação brasileira nas Olimpíadas Paris foi conquistada pela ginasta Rebeca Andrade. Ao receber sua medalha, a atleta se tornou a maior medalhista brasileira de todos os tempos nas Olimpíadas de Verão, incluindo homens e mulheres.

Para conseguir ver as suas notas, a atleta, que tem miopia, precisava utilizar óculos para corrigir as imagens formadas na sua retina. A figura a seguir ilustra a visão de uma pessoa míope com e sem o uso de instrumentos corretores.



Figura 33: Visão de uma pessoa com e sem o uso de instrumentos corretores.

Considerando que a atleta consegue enxergar normalmente até uma distância de 2,0 m, qual deve ser a vergência da lente utilizada pela atleta?

- (a) $-0,5$ di
- (b) $+0,5$ di
- (c) $-40,5$ di
- (d) $+40,5$ di
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Considere que o olho humano pode ser tratado como uma lente delgada da qual a retina está a uma distância de 2,5 cm.

Solução 14. [Alternativa (a)] Para que a atleta consiga enxergar normalmente a lente utilizada deve produzir uma imagem virtual de um objeto distante a uma distância de $200 \text{ cm} = 2,00 \text{ m}$ da lente. Logo, a vergência da lente será $V = -1/2,0 = -0,5$ di.

Problema 15. A terceira medalha de ouro brasileira nas Olimpíadas de Paris foi atingida pelas atletas Duda e Ana Patrícia no vôlei de praia.

Essa competição, disputada em duplas, é realizada numa quadra de $16 \text{ m} \times 8 \text{ m}$ dividida em duas partes iguais, onde fica cada dupla.

Essa competição costuma ocorrer durante o dia e a temperatura da areia na quadra pode ser um dos fatores que dificultam a atuação das atletas.

Considerando que a radiação solar que chega à Terra (sob incidência perpendicular) é cerca de $1,4 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$, qual a quantidade de energia que atinge a quadra durante uma partida com cerca de 1 h de duração?

- (a) 65 MJ
- (b) 161 MJ
- (c) 323 MJ
- (d) 645 MJ
- (e) nenhuma das alternativas anteriores.

Solução 15. [Alternativa (d)] A energia total é obtida multiplicando a potência P que atinge a quadra no intervalo de tempo considerado. Como é dada a intensidade I de radiação solar, sob incidência normal, vamos assumir que este seja o valor durante uma partida para escrever $E = P \cdot \Delta t = I \cdot A \cdot \Delta t = I \cdot a \cdot b \cdot \Delta t$, em que a e b são as dimensões da quadra. Substituindo os valores do enunciado, temos: $E = 1,4 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 3600 = 6,45 \cdot 10^8 \text{ J} = 645 \text{ MJ}$.



2ª fase do TFM

Nível A - Ensino Fundamental

Problema 1 - Rede cristalina (20 pontos)

Uma célula unitária de um cristal de cloreto de sódio (sal comum - NaCl) é a região dentro de um cubo com comprimento de aresta $a = 5,0 \cdot 10^{-10}$ m (Fig. 34). Os círculos pretos na figura representam a posição dos átomos de sódio, enquanto os círculos brancos são átomos de cloro. Todo o cristal de sal comum é uma repetição dessas células unitárias.

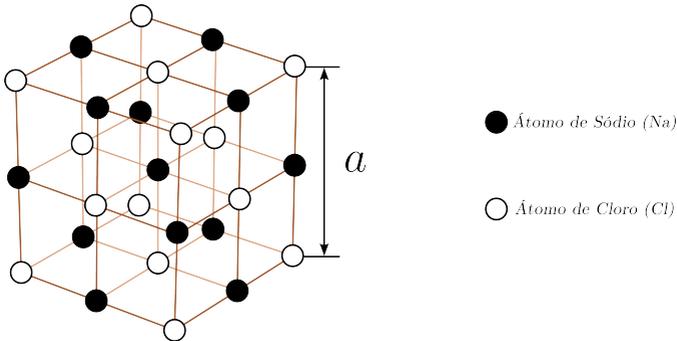


Figura 34: Estrutura cristalina do sal de cozinha, os átomos em preto indicam o Sódio (Na) e em branco o Cloro (Cl).

Costuma-se definir a massa de um átomo em unidades de massa atômica (u.a.) ou simplesmente u de maneira que $1 \text{ u} = \text{massa de um átomo de hidrogênio}$. A partir dessa definição, sabe-se que a massa atômica do sódio é 23 u e a do cloro é 35,5 u.

1.a Determine quantos átomos de Sódio (Na) e de Cloro (Cl) estão contidos dentro de uma célula unitária de um cristal de cloreto de sódio.

Solução 1.a:

Num cristal de cloreto de Sódio há

$$8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4 \text{ átomos de Cloro}$$

$$12 \cdot \frac{1}{4} + 1 = 4 \text{ átomos de Sódio}$$

Os fatores usados indicam a parcela dos átomos que se encontra **dentro** da célula unitária apenas, uma vez que parte de alguns átomos ocupam outras células.

1.b Determine, em unidades de massa atômica, qual a massa contida **dentro** de uma célula unitária de um cristal de cloreto de sódio.

Solução 1.b:

Para obter a massa em unidades de massa atômica basta somar a massa devido a cada tipo de átomo, ou seja:

$$m = 4 \cdot m_{Cl} + 4 \cdot m_{Na} = 234 \text{ u}$$

1.c Determine qual o volume ocupado, em m^3 e em cm^3 , por uma célula unitária do cristal de NaCl, conforme indicado na figura.

Solução 1.c:

O volume é referente a um cubo de aresta a e, portanto:

$$V = a^3 = 1,25 \cdot 10^{-28} \text{ m}^3 = 1,25 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3$$

Sabe-se que a densidade do cloreto de sódio à temperatura ambiente é cerca $\rho = 2,20 \text{ g/cm}^3$.

1.d Determine o valor de uma unidade de massa atômica (1 u) em kg.

Solução 1.d:

A densidade ρ pode ser escrita como:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{234 \text{ u}}{1,25 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3} = 2,20 \text{ g/cm}^3$$

De maneira que:

$$1 \text{ u} = 1,18 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,18 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

1.e Determine quantos átomos de Sódio (Na) e de Cloro (Cl) existem em um cristal com 1 cm^3 de NaCl. Expresse esse valor em mol.

Solução 1.e:

A quantidade de células unitárias de NaCl em 1 cm^3 é dada por:

$$N = \frac{1 \text{ cm}^3}{V} = 8,00 \cdot 10^{21} \text{ células}$$

Como em cada célula há 4 átomos de cada, há $3,2 \cdot 10^{22}$ átomos de cada tipo em 1 cm^3 .

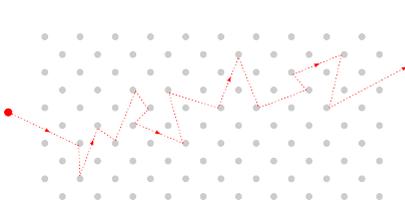
Para expressar esses valores em mol, basta dividí-los pela constante de Avogadro N_A , de maneira que há:

- $5,32 \cdot 10^{-2} = 0,0532$ mol de átomos de Sódio em 1 cm^3 .
- $5,32 \cdot 10^{-2} = 0,0532$ mol de átomos de Cloro em 1 cm^3 .

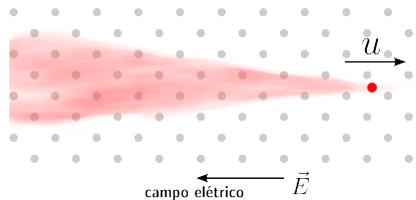
Problema 2 - Modelo de Drude (20 pontos)

O entendimento da matéria como composta por redes cristalinas de partículas permitiu o desenvolvimento de diversos modelos para a condução de calor, eletricidade entre outros. Um modelo famoso, conhecido como *modelo de Drude* explica de maneira qualitativa a condução elétrica nos metais.

Neste modelo, os elétrons podem se movimentar numa rede cristalina e são desviados apenas pelas colisões elásticas com os íons da rede, conforme mostrado na Figura 35(a). Após a aplicação de um campo elétrico o movimento dos elétrons pode ser tratado como o de uma partícula num meio viscoso, conforme ilustrado pela Figura 35(b).



(a) Trajetória clássica de um elétron em uma rede cristalina.



(b) Ilustração do movimento de um elétron em uma rede cristalina como um fluido viscoso.

Figura 35: Modelo de Drude para a condução elétrica que trata o movimento de um elétron em uma rede cristalina sem utilizar conceitos de mecânica quântica.

Suponha que ao acionar um campo elétrico sobre o cristal, sobre os elétrons de massa $m = 9,0 \cdot 10^{-31}$ kg atua uma força $F = 1,8 \cdot 10^{-18}$ N.

2.a Determine a aceleração dos elétrons devido à força elétrica.

Solução 2.a:

A aceleração é dada por:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1,8 \cdot 10^{-18}}{9,0 \cdot 10^{-31}} = 2,0 \cdot 10^{12} \text{ m/s}^2$$

As colisões dos elétrons no cristal podem ser tratadas através de uma força viscosa:

$$\vec{f} = -b\vec{v}, \quad (1)$$

em que o coeficiente de viscosidade é dado por $b = 6,0 \cdot 10^{-16}$ kg/s. Após algum tempo o elétron deve atingir uma *velocidade terminal* u aproximadamente constante.

2.b Determine o valor da velocidade terminal u .

Solução 2.b:

Na situação em que a velocidade é terminal, a força resultante sobre o elétron é nula e, portanto:

$$F_e = b \cdot u \quad \Rightarrow \quad u = \frac{F}{b} = \frac{1,8 \cdot 10^{-18}}{6,0 \cdot 10^{-16}}$$

E, portanto:

$$u = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} = 0,003 \text{ m/s}$$

2.c Faça uma estimativa do tempo (Δt) que o elétron leva e da distância (Δs) percorrida por ele até atingir a velocidade terminal.

Solução 2.c:

Numa primeira aproximação podemos considerar que o movimento tem aceleração constante, desta maneira:

$$\Delta t \sim \frac{u}{a} = 1,5 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

$$\Delta s \sim \frac{u \cdot \Delta t}{2} = 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ m}$$

Suponha que um cristal com área de seção transversal $A = 1 \text{ cm}^2$ que possui uma densidade de elétrons livres $n = 2,5 \cdot 10^{26}$ elétrons/m³ seja submetido a esse campo elétrico. A carga de um elétron é dada por $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

2.d Determine o valor da corrente elétrica que atravessa esse cristal.

Solução 2.d:

A corrente elétrica é dada por:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{e \cdot \Delta N}{\Delta t}$$

em que $\Delta N/\Delta t$ é o número de elétrons que atravessa uma área de seção transversal A por unidade de tempo. Note que os elétrons que conseguem atravessar esta área estão a uma distância de, no máximo, $u\Delta t$ dessa área. O número de elétrons livres nessa região é dado por $\Delta N = n \cdot \Delta V = n \cdot A \cdot u \cdot \Delta t$, o que nos conduz a:

$$i = e \frac{\Delta N}{\Delta t} = n \cdot e \cdot A \cdot u$$

$$i = 2,5 \cdot 10^{26} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

E, portanto:

$$i = 12 \text{ A}$$

Problema 3 - Uma questão de escala (20 pontos)

Ao tratar de sólidos cristalinos, por exemplo, é preciso lidar com dimensões interatômicas, que costumam ser milhares de vezes menores do que a espessura de um fio de cabelo. Para expressar essas distâncias, costuma-se usar escalas como o nanômetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) ou o angstrom ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$).

Uma maneira comum de expressar grandezas em escalas diferentes das que costumamos usar no dia a dia é expressá-las em termos constantes da natureza que se adequam às situações físicas que lidamos.

Como exemplo, considere que o *raio de Bohr* a_0 , uma distância próxima à distância intermolecular, possa ser expresso em termos das seguintes constantes físicas: carga elétrica fundamental $\rightarrow e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, constante de Coulomb $\rightarrow K = 9,0 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 / \text{C}^2 \cdot \text{s}^2$, massa do elétron $\rightarrow m = 9,0 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e constante de Planck reduzida $\rightarrow \hbar = 1,0 \cdot 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}$.

Suponha que é possível escrever:

$$a_0 = e^x K^y m^z \hbar^w \quad (2)$$

em que x , y , z e w são números inteiros e pequenos que aparecem como potências na expressão anterior.

3.a Analisando as dimensões (unidades) das grandezas apresentadas determine os valores dos números x , y , z e w .

Solução 3.a:

Para obter os valores de x , y , z e w podemos escrever a equação completa em que:

$$a_0 = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{C})^x (9,0 \cdot 10^9 \text{kg} \cdot \text{m}^3 / \text{C}^2 \cdot \text{s}^2)^y (9,0 \cdot 10^{-31} \text{kg})^z}{(1,0 \cdot 10^{-34} \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s})^w}$$

$$a_0 = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^x (9,0 \cdot 10^9)^y (9,0 \cdot 10^{-31})^z (1,0 \cdot 10^{-34})^w}{\text{C}^{x-2y} \text{m}^{3y+2w} \text{s}^{-2y-w} \text{kg}^{y+z+w}}$$

E, como a_0 é uma unidade de distância, do lado esquerdo a equação deve estar em metros (m). Dessa maneira, o único expoente que não se anula é $3y + 2w$, de maneira que obtemos as seguintes equações para x , y , z e w :

$$\begin{cases} 3y + w = 1 \\ x - 2y = 0 \\ -2y - w = 0 \\ y + z + w = 0 \end{cases}$$

O que nos dá como solução

$$x = -2, \quad y = -1, \quad z = -1 \quad \text{e} \quad w = 2$$

3.b Utilizando os valores anteriores para x , y , z e w e das constantes físicas, determine o valor do raio de Bohr a_0 , em nanômetros (nm) e em angstroms (Å).

Solução 3.b:

Usando os valores de x , y , z e w obtidos no item anterior, podemos escrever:

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{Ke^2m}$$

O qual, substituindo os valores numéricos nos fornece:

$$a_0 = 4,8 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 0,48 \text{ Å}$$

O método utilizado para resolver os itens anteriores costuma ser chamado de *análise dimensional*. Ele pode ser utilizando em diversos contextos na Física, tanto para estimar valores como foi feito nos itens (a) e (b) como para determinar a dependência de uma grandeza física com outras.

Considere neste caso que a energia armazenada num átomo de hidrogênio depende da constante de Planck reduzida, da massa do elétron e do raio de Bohr, de acordo com a equação:

$$E = A \cdot \hbar^p m^q a_0^r \quad (3)$$

com A sendo uma constante adimensional (ou seja, um número sem

unidades), e p , q e r números inteiros pequenos.

3.c Determine qual o valor do número r .

Solução 3.c:

Para resolver esse problema devemos usar a mesma tática do item anterior. Para isso é preciso inicialmente expressar a unidade de energia nas mesmas unidades de \hbar , m e a_0 . No SI, a unidade de energia é o *joule*, que é expresso como $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$.

Dessa maneira, **considerando apenas as unidades envolvidas** podemos escrever:

$$\begin{aligned} \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 &= (\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s})^p (\text{kg})^q \text{m}^r \\ \Rightarrow \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 &= \text{kg}^{p+q} \cdot \text{m}^{2p+r} \text{s}^{-p} \end{aligned}$$

O que nos leva a:

$$\begin{cases} p + q = 1 \\ 2p + r = 2 \\ -p = -2 \end{cases}$$

Do sistema anterior, obtemos $p = 2$, $q = -1$ e $r = -2$.

3.d Sendo $A < 0$, como muda a energia do átomo de hidrogênio se o valor do raio de Bohr diminuir pela metade?

Solução 3.d:

Pelo resultado do item anterior:

$$E = A \cdot \frac{\hbar^2}{ma_0^2}$$

Dessa maneira, ao diminuir a_0 por 2 o módulo da energia aumenta quatro vezes ($E' = 4E$). Uma vez que $A < 0$, a energia, negativa, se torna quatro vezes menor.

Problema 4 - Equilíbrio com polias (20 pontos)

Na Figura 36 é ilustrado um sistema em que dois blocos de massas $m_1 = 1 \text{ kg}$ e $m_2 = 3 \text{ kg}$ estão presos através de cordas ideais A e B a um bloco de massa $M = 6 \text{ kg}$ que está inicialmente em repouso sobre uma mesa horizontal. A aceleração gravitacional local é $g = 10 \text{ m/s}^2$.

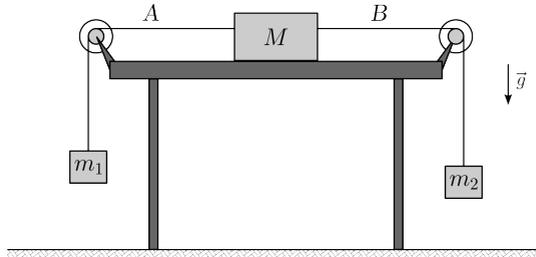


Figura 36: Ilustração dos blocos m_1 e m_2 pendurados por cordas e do bloco M puxado através de um sistema de polias.

4.a Supondo inicialmente que a mesa é completamente lisa, identifique as forças que atuam em cada bloco.

Solução 4.a:

Na figura indicada acima $|\vec{T}'_A| = |\vec{T}_A| = T_A$ e $|\vec{T}'_B| = |\vec{T}_B| = T_B$.

4.b Para a mesma situação do item anterior, determine a aceleração de cada bloco.

Solução 4.b:
Os três blocos têm a mesma aceleração a . Como $m_2 > m_1$ vamos supor que M esteja se deslocando aceleradamente para a direita. Nesse

caso, aplicando a 2ª lei de Newton na direção de movimento de cada bloco, obtemos:

$$\begin{cases} T_A - m_1g = m_1a \\ T_B - T_A = Ma \\ m_2g - T_B = m_2a \end{cases}$$

Usando as equações acima, temos:

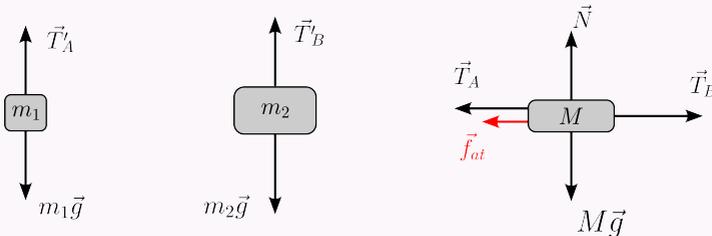
$$\begin{cases} a = \frac{(m_2 - m_1)g}{M + m_1 + m_2} \\ T_A = \frac{(M + 2m_2)m_1g}{M + m_1 + m_2} \\ T_B = \frac{(M + 2m_1)m_2g}{M + m_1 + m_2} \end{cases}$$

De maneira que substituindo os valores dados no enunciado obtemos $a = 2,0 \text{ m/s}^2$.

Suponha agora que entre a mesa e o bloco de massa M seja rugosa. O coeficiente de atrito μ entre a mesa e o bloco é inicialmente desconhecido.

4.c Para esta nova situação, identifique as forças que atuam em cada bloco.

Solução 4.c:



Na figura indicada acima $|\vec{T}'_A| = |\vec{T}_A| = T_A$ e $|\vec{T}'_B| = |\vec{T}_B| = T_B$.

4.d Determine o menor coeficiente de atrito para que o sistema permaneça em repouso.

Solução 4.d:

Para o caso do sistema em repouso, $T_B = m_2g$ e $T_A = m_1g$, de

maneira que ao analisar o movimento para o bloco M obtemos:

$$T_A + f_{at} = T_B \quad \Rightarrow \quad f_{at} = (m_2 - m_1)g$$

Como a força de atrito é tal que $f_{at} \leq \mu N = \mu Mg$, podemos escrever:

$$\mu \geq \frac{m_2 - m_1}{M}$$

Dessa maneira, substituindo os valores do enunciado, temos $\mu \geq 1/3 \approx 0,33$. O coeficiente de atrito mínimo para garantir que o sistema permaneça em repouso é, portanto, $\mu_0 = 1/3 \approx 0,33$.

4.e Supondo agora que o coeficiente de atrito seja $\mu = 0,1$, determine o valor da tração na corda A .

Solução 4.e:

Nessa situação, já que o coeficiente de atrito é menor que o suficiente para o sistema estar em repouso, podemos admitir que $f_{at} = \mu N = \mu Mg$ para escrever as seguintes equações de movimento:

$$\begin{cases} T_A - m_1g = m_1a \\ T_B - T_A - \mu Mg = Ma \\ m_2g - T_B = m_2a \end{cases}$$

Usando as equações acima, temos:

$$\begin{cases} a = \frac{(m_2 - m_1 - \mu M)g}{M + m_1 + m_2} \\ T_A = \frac{[M(1 - \mu) + 2m_2]m_1g}{M + m_1 + m_2} \\ T_B = \frac{[M(1 + \mu) + 2m_1]m_2g}{M + m_1 + m_2} \end{cases}$$

De maneira que a tração na corda A é dada por $T_A = 11,4$ N. Os demais valores são $T_B = 25,8$ N e $a = 1,4$ m/s².

Problema 5 - Modelo de Sommerfeld para o calor específico (20 pontos)

A baixas temperaturas, os elétrons livres em um sistema metálico tem um papel importante na condução de calor e eletricidade. O primeiro modelo capaz de explicar com maior precisão a dependência do calor específico com a temperatura só foi possível com o uso da Mecânica Quântica. Nesse modelo, o calor específico molar C como função da temperatura T devido aos elétrons livres é dado, com boa aproximação, por:

$$C = \gamma \frac{T}{T_F} \quad (4)$$

em que γ é uma constante universal e T_F é uma temperatura característica do material chamada de *temperatura de Fermi*.

Com o objetivo de determinar essas constantes, um conjunto de medidas de calor específico foi medido como função da temperatura para 1 mol de uma amostra metálica. Os resultados obtidos estão dados na Tabela 1.

Tabela 1: Calor específico molar C , medido em J/mol·K, para 1 mol de uma amostra metálica como função da temperatura medida em termos da temperatura de Fermi T_F .

Temperatura ($100 \times T/T_F$)	1,5	2,0	3,0	5,0	7,0
C (J/mol·K)	0,35	0,72	1,55	1,85	2,45
Temperatura ($100 \times T/T_F$)	9,0	13,0	14,0	16,0	18,0
C (J/mol·K)	3,55	5,22	5,89	6,23	7,62

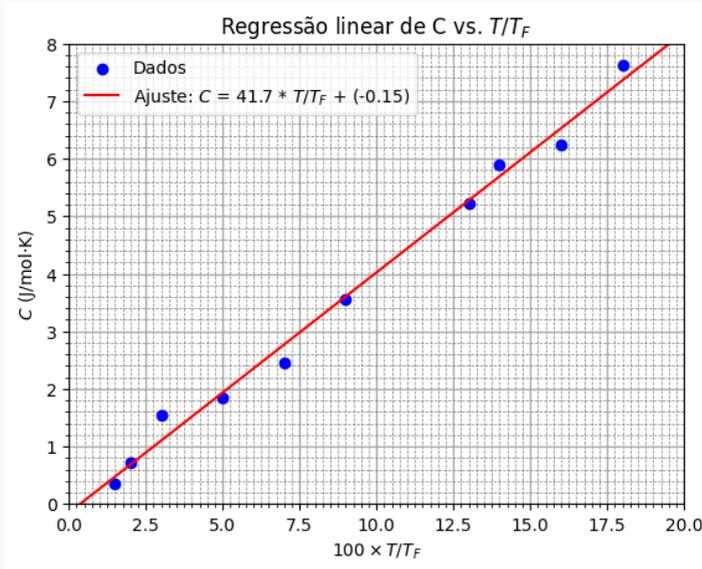
Faça o que se pede:

- 5.a** Represente em um gráfico a dependência de C como função de T/T_F . Represente também a reta que melhor se ajusta aos pontos.

Solução 5.a:

Utilizando os valores fornecidos na tabela do enunciado, obtemos:

Figura: Gráfico de C como função de T/T_F com os dados obtidos a partir da tabela 1.



5.b Determine o valor da constante universal γ em J/mol·K.

Solução 5.b:

De acordo com a inclinação da reta que melhor se ajusta aos dados experimentais o valor obtido para a constante γ é dado por:

$$\gamma = 41,7 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

Note-se que na tabela do enunciado, são dados os valores de $100 \times T/T_F$ de maneira que o fator de 100 deve ser levado em consideração nas escalas do gráfico para determinar o valor de γ . O cálculo direto a partir do gráfico anterior daria uma inclinação de 0,417.

5.c Sabendo que para a amostra em questão $T_F = 40$ K e sua massa é $m = 100$ g, determine qual deveria ser o valor do calor específico, em J/g·K, do material da amostra na temperatura $T = 2,5$ K.

Solução 5.c:

De acordo com o que obtivemos, o valor de C é dado aproximadamente por:

$$C(T) = 41,7 \cdot \left(\frac{T}{T_F} \right) - 0,15$$

De maneira que a $T = 2,5$ K com $T_F = 40$ K, temos:

$$C(2,5) = 2,5 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = 0,025 \text{ J/g} \cdot \text{K} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ J/g} \cdot \text{K}$$

* *Observação: os valores obtidos neste problema não são, necessariamente, aqueles referentes ao modelo de Sommerfeld.*



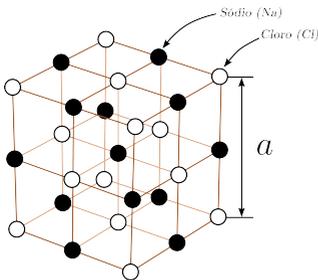
2ª fase do TFM

Nível B - Ensino Médio

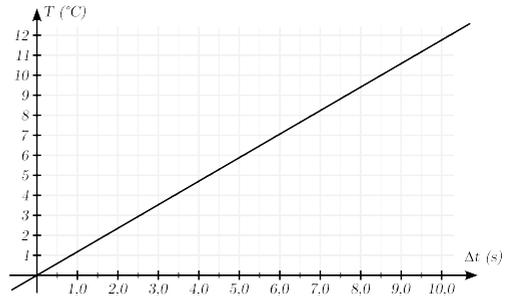


Problema 1 - Rede cristalina (20 pontos)

Uma célula unitária de um cristal de cloreto de sódio (sal comum - NaCl) é um cubo com comprimento de aresta $a = 5,60 \text{ \AA}$ (Fig. 37(a)). Os círculos pretos na figura representam a posição dos átomos de sódio, enquanto os círculos brancos são átomos de cloro. Todo o cristal de sal comum é uma repetição dessas células unitárias.



(a) Estrutura cristalina do sal de cozinha.



(b) Temperatura de uma amostra de 100 g aquecida por uma fonte de 100 W.

Figura 37: Cristal de cloreto de sódio (NaCl ou sal de cozinha).

Costuma-se definir a massa de um átomo em unidades de massa atômica (u.a.) ou simplesmente u de maneira que $1 \text{ u} =$ massa de um átomo de hidrogênio. A partir dessa definição, sabe-se que a massa atômica do sódio é 23,0 u e a do cloro é 35,5 u.

1.a Determine, em unidades de massa atômica, qual a massa contida dentro de uma célula unitária de um cristal de cloreto de sódio.

Solução 1.a:

Num cristal de cloreto de Sódio há

$$8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4 \text{ átomos de Cloro}$$

$$12 \cdot \frac{1}{4} + 1 = 4 \text{ átomos de Sódio}$$

A massa numa célula unitária é, portanto, $4 \cdot m_{Cl} + 4 \cdot m_{Na} = 234$ u.

1.b Determine qual o volume ocupado, em m^3 , por um cristal contendo 1,00 mol de NaCl.

Solução 1.b:

Como cada célula unitária contém 4 moléculas de NaCl, o volume ocupado por um cristal com 1 mol de moléculas de NaCl é igual ao volume de $(1/4)$ mol de células unitárias.

Cada célula unitária tem volume:

$$v_0 = a^3 = 1,76 \cdot 10^{-28} \text{ m}^3$$

Portanto, o volume do cristal será

$$V = N_A v_0 = \frac{1}{4} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,76 \cdot 10^{-28} = 2,64 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

Para determinar o calor específico do NaCl, foi medida a temperatura de uma amostra de 100 g de NaCl aquecida por uma fonte de 100 W, conforme mostrado na Figura 37(b).

1.c Determine o calor específico do NaCl, em $\text{J/kg}\cdot\text{K}$.

Solução 1.c:

Para obter o calor específico a partir do gráfico basta observar que o calor transferido à amostra é dado por $\Delta Q = P\Delta t$, em que $P = 100$ W é a potência da fonte e Δt é o tempo transcorrido.

Por definição, temos:

$$\Delta Q = m \cdot C \Delta T \quad \Rightarrow \quad C = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{P \Delta t}{m \cdot \Delta T}.$$

Pelo gráfico, usando os pontos $(t_1; T_1) = (0; 0)$ e $(t_2; T_2) = (8,5; 10)$ obtemos:

$$C = \frac{100 \cdot 8,5}{0,1 \cdot 10} = 850 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 850 \text{ J/kg} \cdot \text{K}.$$

Sabe-se que o calor específico molar C de um cristal é dado pela Lei de Dulong-Petit, sendo $C = 3R$, em que $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ é a constante universal dos gases. Nesta fórmula, C é a capacidade térmica molar para cada substância que compõe o cristal.

1.d Determine a densidade, em kg/m^3 , de um cristal de sal de cozinha.

Solução 1.d:

O calor específico dado pela lei de Dulong e Petit é $C = 2 \cdot 24,93 = 49,9 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$. Veja que há uma contribuição $3R$ para cada tipo de átomo (Na e Cl). Comparando os dois valores de calor específico, temos:

$$850 \text{ J/kg} \cdot \text{K} = 49,9 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

O que nos dá $1 \text{ kg} = 17,0 \text{ mol}$ ou $1 \text{ mol} = 5,87 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$. Utilizando o volume ocupado por 1 mol de NaCl determinado no item (b), temos:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{5,87 \cdot 10^{-2}}{2,64 \cdot 10^{-5}} = 2,22 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3.$$

1.e Encontre a massa de um átomo de hidrogênio, em kg.

Solução 1.e:

Podemos comparar a densidade medida em kg/m^3 e u/m^3 para obter:

$$\rho = \frac{234}{1,76 \cdot 10^{-28}} \text{ u/m}^3 = 2,22 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Da qual obtemos:

$$1 \text{ u} = \frac{2,22 \cdot 1,76}{234} \cdot 10^{3-28} \text{ kg} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Problema 2 - Modelo de Drude (20 pontos)

O entendimento da matéria como composta por redes cristalinas de partículas permitiu o desenvolvimento de diversos modelos para a condução de calor, eletricidade entre outros. Um modelo famoso, conhecido como *modelo de Drude* explica de maneira qualitativa a condução elétrica nos metais.

Neste modelo, os elétrons podem se movimentar numa rede cristalina e são desviados aleatoriamente (em qualquer direção) pelas colisões com os íons da rede, conforme mostrado na Figura 38(a). Após a aplicação de um campo elétrico o movimento dos elétrons pode ser tratado como o de uma partícula num meio viscoso, conforme ilustrado pela Figura 38(b).

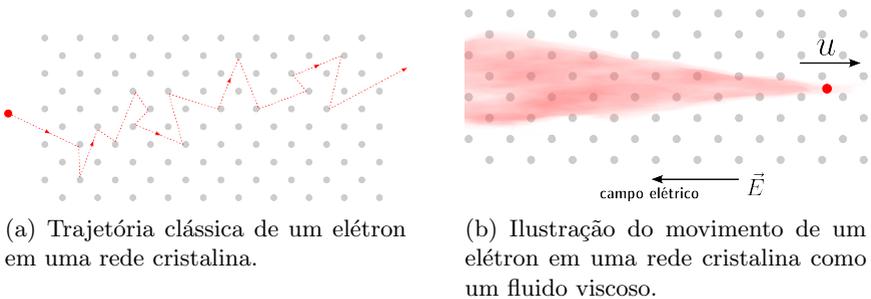


Figura 38: Modelo de Drude para a condução elétrica que trata o movimento de um elétron em uma rede cristalina sem utilizar conceitos de mecânica quântica.

Suponha que ao acionar um campo elétrico $E = 18 \text{ N/C}$ sobre o cristal os elétrons, de massa $m = 9,0 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e carga $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, estão sujeitos a uma força elétrica.

2.a Determine a aceleração dos elétrons devido à força elétrica.

Solução 2.a:

A aceleração dos elétrons é dada por:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{e \cdot E}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 18}{9,0 \cdot 10^{-31}} = 3,2 \cdot 10^{12} \text{ m/s}^2$$

As colisões dos elétrons no cristal podem ser tratadas através de

uma força viscosa:

$$\vec{f} = -b\vec{v}, \quad (5)$$

em que o coeficiente de viscosidade é dado por $b = 6,0 \cdot 10^{-16} \text{ kg/s}$. Após algum tempo o elétron deve atingir uma *velocidade terminal* u aproximadamente constante.

2.b Determine o valor da velocidade terminal u .

Solução 2.b:

Ao atingir a velocidade terminal a força resultante sobre o elétron é nula e, portanto:

$$e \cdot E = b \cdot u \quad \Rightarrow \quad u = \frac{e \cdot E}{b} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 18}{6,0 \cdot 10^{-16}} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

2.c Faça uma estimativa do tempo (Δt) que o elétron leva e da distância (Δs) percorrida por ele até atingir a velocidade terminal.

Solução 2.c:

Numa primeira aproximação podemos considerar que o movimento tem aceleração constante, desta maneira:

$$\Delta t \sim \frac{u}{a} = 1,5 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

$$\Delta s \sim \frac{u \cdot \Delta t}{2} = 3,6 \cdot 10^{-18} \text{ m}$$

Suponha que um cristal com área de seção transversal $A = 1,0 \text{ cm}^2$ que possui uma densidade de elétrons livres $n = 2,5 \cdot 10^{26} \text{ elétrons/m}^3$ seja submetido a esse campo elétrico.

2.d Determine o valor da corrente elétrica que atravessa esse cristal.

Solução 2.d:

A corrente elétrica é dada por:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{e \cdot \Delta N}{\Delta t}$$

em que $\Delta N/\Delta t$ é o número de elétrons que atravessa uma área de seção transversal A por unidade de tempo. Note que os elétrons que conseguem atravessar esta área estão a uma distância de, no máximo, $u\Delta t$ dessa área. O número de elétrons livres nessa região é dado por $\Delta N = n \cdot \Delta V = n \cdot A \cdot u \cdot \Delta t$, o que nos conduz a:

$$i = n \cdot e \cdot A \cdot u = 2,5 \cdot 10^{26} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 4,8 \cdot 10^{-3}$$

E, portanto:

$$i = 19 \text{ A}$$

Suponha que o cristal tenha distância interatômica $a = 2,4 \text{ \AA}$ e responda aos itens a seguir:

2.e Estime o menor intervalo de tempo τ entre duas colisões dos elétrons com os íons do cristal.

Solução 2.e:

Podemos estimar o tempo entre as duas colisões como o tempo para o elétron se deslocar entre dois átomos da rede, ou seja:

$$\tau \sim \frac{a}{u} = \frac{2,4 \cdot 10^{-10}}{4,8 \cdot 10^{-3}} = 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ s.}$$

2.f Estime a perda de energia, por unidade de tempo e de volume, provocada pelas colisões.

Solução 2.f:

Como o tempo entre duas colisões é muito maior que o tempo para atingir a velocidade limite, podemos considerar que as perdas de energia ocorrem numa escala de tempo τ . A cada desvio aleatório sofrido pelos

elétrons podemos assumir que a perda de energia é da ordem da energia cinética dos mesmos. Sendo assim, num intervalo de tempo τ , a perda de energia por unidade de tempo e de volume pode ser estimada como:

$$p = \frac{\Delta E}{\Delta V \Delta t} = \frac{n}{\tau} \cdot \frac{1}{2} m u^2$$

$$p = \frac{2,5 \cdot 10^{26}}{5,0 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{1}{2} \cdot 9,0 \cdot 10^{-31} \cdot (4,8 \cdot 10^{-3})^2$$

$$p = 5,2 \cdot 10^{-2} \text{ J/m}^3 \cdot \text{s} = 52 \text{ mW/m}^3.$$

Problema 3 - Transição sólido-líquido (20 pontos)

Como se sabe, um determinado material pode se apresentar em diferentes fases (sólida, líquida, gasosa etc). Podemos admitir que uma diferença entre a fase sólida e a líquida é que a distância interatômica na fase sólida gira em torno de um valor positivo médio enquanto na fase líquida pode-se apenas garantir que esse valor é positivo.

Considere um modelo em que os átomos que compõem um sólido cristalino estão ligados entre si através de um potencial harmônico $U(x) = kx^2/2$, em que k é uma *constante de mola* efetiva e x é a distância entre os átomos. A vibração dos átomos na rede pode ser atribuída à energia térmica $3k_B T/2$ que cada átomo possui à temperatura T . Aqui, k_B é a constante de Boltzmann.

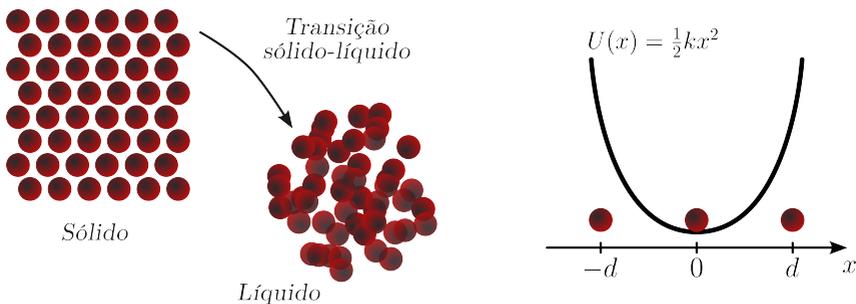


Figura 39: Ilustração da transição de fase do sólido para o líquido.

3.a Calcule o valor da energia térmica de um átomo à temperatura ambiente, em J.

Solução 3.a:

A partir do enunciado, temos:

$$\varepsilon = \frac{3}{2} k_B T = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 = 6,07 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

Em que os dados $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ e $T = 293 \text{ K}$ foram dados na capa da prova.

Segundo o *critério de Lindemann*, quando a distância interatômica

d é da ordem da amplitude de vibração dos átomos na rede, ocorre a transição entre a fase sólida e a fase líquida.

3.b Estime o valor da temperatura característica da transição de fase em termos da distância interatômica d , de k e de k_B , usando o critério de Lindemann.

Solução 3.b:

De acordo com o critério de Lindemann, podemos estimar que a amplitude de vibração seja $A = d/2$, uma vez que caso A seja maior que este valor um átomo “atravessaria” o outro.

A energia de vibração pode ser relacionada com a energia térmica para obtermos a temperatura crítica T_C , veja:

$$\begin{aligned} \frac{3}{2}k_B T_c &= \frac{1}{2}kA^2 \sim \frac{1}{2}k\left(\frac{d}{2}\right)^2 \\ \Rightarrow T_c &\simeq \frac{k \cdot d^2}{12k_B} \end{aligned}$$

3.c Estime a distância interatômica d para um cristal de átomos de Cobre ($m_{Cu} = 1,06 \cdot 10^{-25}$ kg), com densidade $\rho = 9000 \text{ kg/m}^3$.

Solução 3.c:

Para estimar a distância interatômica, podemos supor que um átomo de cobre está dentro de um cubo de aresta d . Neste caso, a densidade é dada por:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m_{Cu}}{d^3} \quad \Rightarrow \quad d = \sqrt[3]{\frac{m_{Cu}}{\rho}} \\ d &= 2,28 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 2,28 \text{ \AA} \end{aligned}$$

Num modelo exagerado, a constante de mola pode ser estimada considerando que a *força elástica* que atua num átomo deslocado de uma distância d na rede é da ordem da *força elétrica* entre dois elétrons a uma distância d .

3.d Estime o valor da constante de mola k para o cristal de cobre.

Solução 3.d:

De acordo com o que é dito no enunciado:

$$F_{\text{elástica}} = F_{\text{elétrica}}$$

$$kd = \frac{k_C e^2}{d^2} \Rightarrow k = \frac{k_C e^2}{d^3}$$

$$k = \frac{9,0 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{(2,28 \cdot 10^{-10})^3} = 20 \text{ N/m}$$

3.e Estime o valor da temperatura da transição solido-líquido.

Solução 3.e:

Usando o resultado do item (b) e os valores obtidos nos itens anteriores temos:

$$T_c \simeq \frac{k \cdot d^2}{12k_B} = \frac{20 \cdot (2,28 \cdot 10^{-10})^2}{12 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 6100 \text{ K}$$

3.f Estime o valor da frequência natural de vibração dos átomos de cobre na rede cristalina.

Solução 3.f:

Podemos tratar a vibração dos átomos como um sistema massa + mola no qual a massa é a massa do átomo de cobre e a constante da mola é k . A frequência de vibração neste caso é:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_{Cu}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{20}{1,06 \cdot 10^{-25}}} = 2,1 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$$

Problema 4 - Um sistema de blocos e polias (20 pontos)

Considere o sistema mostrado na Figura 40 em que todos o fio e as polias podem ser considerados ideais. Considere inicialmente que não haja atrito em nenhuma das superfícies de contato dos blocos com o solo ou entre si. Considere que a aceleração da gravidade local é $g = 10 \text{ m/s}^2$.

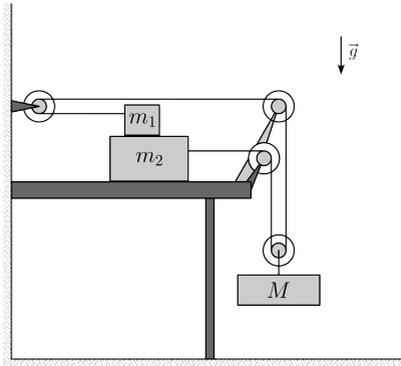
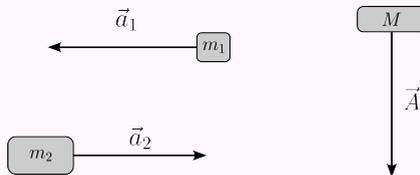


Figura 40: Blocos, polias e um pouco de atrito.

4.a Indique o sentido e direção das acelerações dos blocos m_1 , m_2 e M .

Solução 4.a:

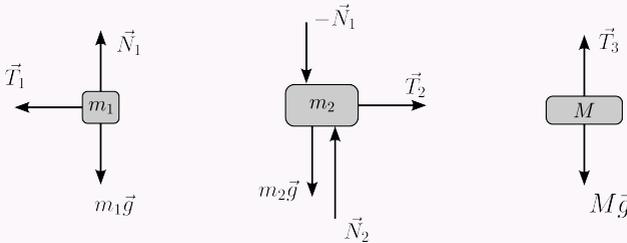
Na figura a seguir estão indicadas a aceleração \vec{a}_1 do bloco m_1 , \vec{a}_2 do bloco m_2 e \vec{A} do bloco M .



4.b Faça um diagrama de corpo livre para cada um dos blocos.

Solução 4.b:

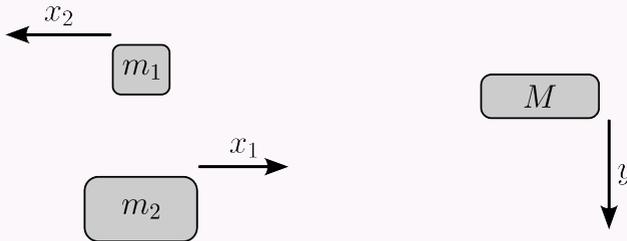
O diagrama de corpo livre para cada um dos corpos está ilustrado nas figuras a seguir. Na ilustração $\|\vec{T}_1\|$, $\|\vec{T}_2\|$ $\|\vec{T}_3\|$ representam as forças de tração da corda, igual ao longo de toda a corda $\|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_2\| = \|\vec{T}_3\| = T$, sobre os corpos.



4.c Determine uma relação entre as acelerações a_1 (do bloco m_1), a_2 (do bloco m_2) e A (do bloco M).

Solução 4.c:

Considere um conjunto de deslocamentos virtuais dos blocos conforme mostrados na figura a seguir:



Na figura o bloco m_1 se desloca uma distância x_1 para a esquerda, o bloco m_2 se desloca uma distância x_2 para a direita e o bloco M desce uma distância y de maneira que, como o comprimento da corda é constante:

$$x_1 + x_2 = 2 \cdot y$$

$$\Rightarrow a_1 + a_2 = 2 \cdot A$$

Considerando que $m_1 = 3,0$ kg, $m_2 = 5,0$ kg, $M = 5,0$ kg, responda aos itens a seguir.

4.d Determine a aceleração de cada um dos blocos.

Solução 4.d:

Aplicando a 2ª lei de Newton na direção de deslocamento de cada um dos blocos temos:

$$\begin{cases} T = m_1 a_1 \\ T = m_2 a_2 \\ Mg - 2T = MA \end{cases}$$

Usando as equações acima e a relação encontrada no item anterior, temos:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{2Mm_2g}{M(m_1 + m_2) + 4m_1m_2} \\ a_2 = \frac{2Mm_1g}{M(m_1 + m_2) + 4m_1m_2} \\ A = \frac{M(m_1 + m_2)g}{M(m_1 + m_2) + 4m_1m_2} \end{cases}$$

As quais, substituindo os valores dados no enunciado $g = 10 \text{ m/s}^2$, $m_1 = 3,0 \text{ kg}$, $m_2 = 5,0 \text{ kg}$ e $M = 5,0 \text{ kg}$, obtemos:

$$a_1 = 5,0 \text{ m/s}^2, \quad a_2 = 3,0 \text{ m/s}^2 \quad \text{e} \quad A = 4,0 \text{ m/s}^2.$$

4.e Determine a tração na corda.

Solução 4.e:

Usando a expressão para a aceleração a_1 e da 2ª para a massa m_1 determinadas no item anterior

$$T = \frac{2Mm_1m_2g}{M(m_1 + m_2) + 4m_1m_2}$$

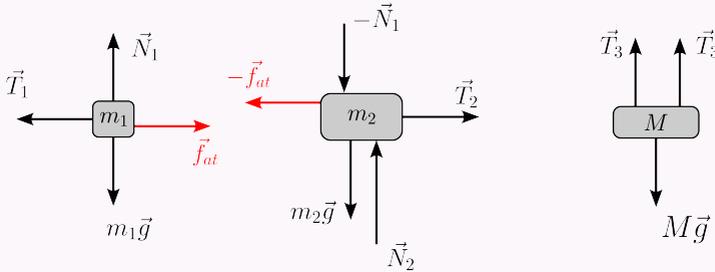
O que nos dá $T = 15 \text{ N}$.

Considerando agora que haja atrito entre os blocos m_1 e m_2 , responda aos itens a seguir.

4.f Determine o menor valor do coeficiente de atrito μ para o qual os blocos não irão se mover aceleradamente.

Solução 4.f:

O novo diagrama de corpo livre está indicado na figura a seguir:



Na figura está indicada a força de atrito \vec{f}_{at} em cada bloco. Para que o sistema não se mova aceleradamente é preciso que a força resultante sobre m_1 , m_2 e m_3 sejam nulas e, portanto:

$$T = \frac{Mg}{2} = f_{at} \leq \mu m_1 g$$

De maneira que:

$$\mu \geq \frac{M}{2m_1} = 0,5$$

4.g Caso $\mu = 0,1$, determine a aceleração de cada bloco.

Solução 4.g:

A 2ª lei de Newton nesse caso se torna:

$$\begin{cases} T - \mu m_1 g = m_1 a_1 \\ T - \mu m_1 g = m_2 a_2 \\ Mg - 2T = MA \end{cases}$$

Em que usamos $f_{at} = \mu m_1 g$. Usando ainda a relação entre as acelerações obtida no item (c), obtemos:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{2(M - 2\mu m_1)m_2g}{M(m_1 + m_2) + 4m_1m_2} \\ a_2 = \frac{2(M - 2\mu m_1)m_2g}{M(m_1 + m_2) + 4m_1m_2} \\ A = \frac{(M - 2\mu m_1)(m_1 + m_2)g}{M(m_1 + m_2) + 4m_1m_2} \end{cases}$$

O que nos leva a:

$$a_1 = 2,0 \text{ m/s}^2, \quad a_2 = 1,2 \text{ m/s}^2 \quad \text{e} \quad A = 1,6 \text{ m/s}^2.$$

Problema 5 - Modelo de Debye para o calor específico (20 pontos)

A baixas temperaturas, a energia armazenada em cristais na forma de vibrações na rede tem um papel importante para descrever o calor específico destes. Nesse regime, as vibrações na rede cristalina, conhecidas como fônons, são o equivalente mecânico análogo aos fótons que se deslocam no vácuo, com a diferença que se propagam em um meio material. O calor específico molar C devido à presença desses fônons pode ser escrito, com boa aproximação para baixas temperaturas como:

$$C = A \left(\frac{T}{T_D} \right)^n \quad (6)$$

Neste modelo conhecido como modelo de Debye, T_D é a chamada temperatura de Debye, característica do material que compõe o cristal, A é uma constante universal e n é um número natural pequeno. Medidas de C como função da temperatura foram feitas para 1 mol de um determinado cristal e os resultados estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2: Calor específico molar C , medido em J/mol·K, para 1 mol de um cristal como função da temperatura medida em termos da temperatura de Debye T_D .

Temperatura (T/T_D)	0,003	0,032	0,1	0,2
C (J/mol·K)	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	1,94	15,5
Temperatura (T/T_D)	0,38	1,0	3,16	5,0
C (J/mol·K)	63,7	194	$7,1 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^5$

Com o intuito de obter a dependência da lei de Debye (Equação 6), costuma-se realizar uma *linearização* da equação para obter:

$$\log(C) = \log(A) + n \cdot \log\left(\frac{T}{T_D}\right) \quad (7)$$

em que $\log(x)$ representa o logaritmo de x na base 10. Faça o que se pede:

5.a Faça uma tabela, análoga à Tabela 2, com os valores de $\log(C)$ escritos em função de $\log(T/T_D)$.

Solução 5.a:

Aplicando o logaritmo aos valores dados na tabela 2, obtemos:

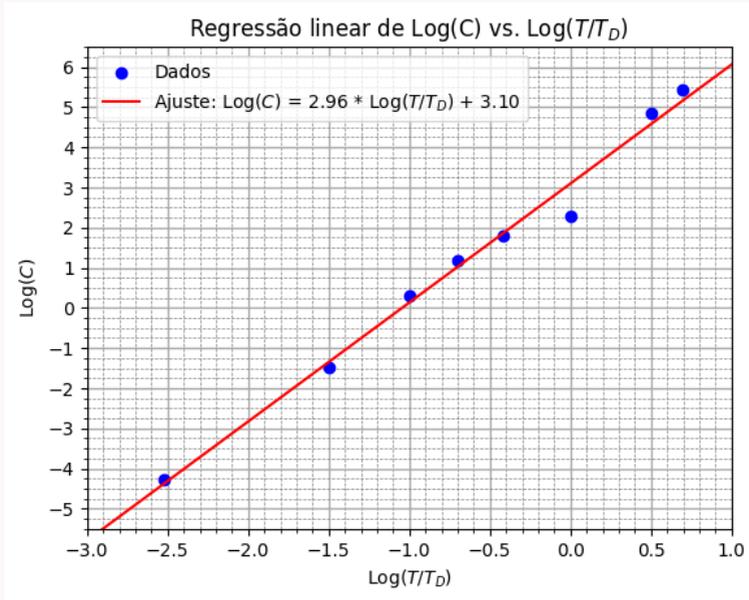
Tabela: Dados de $\log(T/T_D)$ como função de $\log(C)$ obtidos a partir da tabela 2.

$\log(T/T_D)$	-2,52	-1,49	-1,00	-0,70
$\log(C)$	-4,27	-1,47	0,28	1,19
$\log(T/T_D)$	-0,42	0,00	0,50	0,70
$\log(C)$	1,80	2,29	4,85	5,44

5.b Represente em um gráfico a dependência de $\log(C)$ como função de $\log(T/T_D)$. Represente também a reta que melhor se ajusta aos pontos.

Solução 5.b:

Figura: Gráfico de $\log(C)$ como função de $\log(T/T_D)$ com os dados obtidos a partir da tabela 2.



5.c Use os resultados obtidos para determinar o valor da constante universal A e da potência n que indica a dependência do calor específico com a temperatura.

Solução 5.c:

De acordo com a reta que melhor se ajusta aos pontos obtemos $n = 3$, já que o enunciado indica que deve ser um número natural. Além disso, o valor da constante A , pode ser obtido como:

$$A = 10^{3,10} = 1246 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

Observe que A tem a mesma unidade de C .

* *Observação: os valores obtidos neste problema não são, necessariamente, aqueles referentes ao modelo de Debye.*



Estudantes medalhistas



Medalhistas TFM 2024

8º ano do Ensino Fundamental

Medalha de Ouro

Anna Beatriz dos Santos Belchior
EE João Dantas Filgueiras - Três Lagoas - MS

Carolina Cantergiani Vetturazzi
Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS

Carolina Gontijo Guedes
Colégio Militar Tiradentes - Brasília - DF

Ellen de Souza Lessa
*Colégio Farias Brito Pré-
vestibular Central - Fortaleza - CE*

Isabel Faria e Silva
*Colégio da Companhia de Santa Te-
resa de Jesus RJ - Rio de Janeiro - RJ*

Maria Eduarda Cruz Araújo
Colégio Master - Fortaleza - CE

Medalhistas TFM 2024

8º ano do Ensino Fundamental

Medalha de Prata

Ana Sofia Félix Madureira

Ábaco Colegio - São Bernardo do Campo - SP

Ester Maria Silva de Andrade

*Colégio Farias Brito Pré-
vestibular Central - Fortaleza - CE*

Leticia Mabu de Andrade

*Objetivo Centro Interescolar Uni-
dade Paulista - São Paulo - SP*

Luísa Batista Mesquita

Colégio Militar Tiradentes - Brasília - DF

Manuela Vasconcelos Magalhães Gurgel

*Colégio Ari de Sá Cavalcante - Ma-
jor Facundo - Fortaleza - CE*

Mariana Moscibroski Nomura

Colégio Etapa - Valinhos - SP

Mirela Carneiro Uchoa
*Colégio Farias Brito Pré-
vestibular Central - Fortaleza - CE*

Thayssa Dias Pereira Otaviano
Centro Educacional Rural - Pires Ferreira - CE

Medalhistas TFM 2024

8º ano do Ensino Fundamental

Medalha de Bronze

Ana Luisa Ansani de Melo Silva
Centro Educacional Nadia Santos Rocha - Diamantina - MG

Giovana Oliveira Nascimento
Colégio Villa Lobos - Amparo - SP

Iohanna Soares de Lima
Colégio Master - Fortaleza - CE

Julia Young Hue Chiu Bastos
Objetivo Centro Interescolar Unidade Paulista - São Paulo - SP

Mharia Clara Abreu de Albuquerque
Colégio Militar Tiradentes - Brasília - DF

Milene Cruz Medeiros
Colégio Brigadeiro Newton Braga - Rio de Janeiro - RJ

Naomi Bergara Higa
*Objetivo Centro Interescolar Uni-
dade Paulista - São Paulo - SP*

Natália Duarte de Oliveira
Colégio Agostiniano São José - São Paulo - SP

Sofia Zulian Ruas
*Escola Estadual Professor Eduardo
Silva - Santa Bárbara d'Oeste - SP*

Thainá Pereira Fagundes
*Escola Municipal Orsina da Fon-
seca - Rio de Janeiro - RJ*

Yasmin Maria Andrade de Souza
*Centro Educacional Nadia San-
tos Rocha - Diamantina - MG*

Medalhistas TFM 2024

9º ano do Ensino Fundamental

Medalha de Ouro

Elana Amâncio

Maria Aparecida Pinto da Cunha Professora - Indaiatuba - SP

Giovanna Silva e Souza Moura

Escola Crescer - Parnaíba - PI

Hevelin Leandro Cesidio Gomes

Colégio Militar de Fortaleza - Fortaleza - CE

Isabela Machado Pires

Colégio Arena - Goiânia - GO

Laura Beltrão Ramos

Colégio GGE - Recife - PE

Luiza Calligaro Peter-
longo Lorenzini Menegotto

Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS

Sarah Vieira de Oliveira
*Objetivo Centro Interescolar Uni-
dade Paulista - São Paulo - SP*

Sofia Nakamura Chueiri
*Objetivo Centro Interescolar Uni-
dade Paulista - São Paulo - SP*

Medalhistas TFM 2024

9º ano do Ensino Fundamental

Medalha de Prata

Anne Letícia Sousa Gomes Alves
Colégio Teleyos - Fortaleza - CE

Bruna Lobo Olim Marote
Colégio Agostiniano Mendel - São Paulo - SP

Clara Cristina Guimarães Antunes
Centro Educacional Lato Sensu - Manaus - AM

Clarissa Soares Messa
Colégio Santo Américo - São Paulo - SP

Geovanna Lima Siade
*Escola de Ensino Fundamental Cres-
cer LTDA - EPP - Anápolis - GO*

Larissa Tiemi Kanashiro Takamine
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Luiza Petroli Lopes
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Maria Eduarda Jordão Daruiche
Instituto Educacional Caminhar - Jacaré - SP

Maria Fernanda Giral-
delo de Camargo Penteadó
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Maria Joaquina dos Santos de Moraes Costa
Escola Crescer - Parnaíba - PI

Maria Luíza Fernandes Gonzaga
Colégio Degraus - Goiânia - GO

Marilia Silva de Luna Freire Carneiro
Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE

Raiza Castilho Medeiros de Oliveira
Colégio Mestre - São Sebastião - SP

Sophia Paulino Luna
Colégio Teleyos - Fortaleza - CE

Yume Gabryelle Alves de Souza
Educandário Américo Mesquita - Piancó - PB

Medalhistas TFM 2024

9º ano do Ensino Fundamental

Medalha de Bronze

Alicia Cunha Lustosa Dantas
Complexo Educacional Contemporâneo - Natal - RN

Alisa Jin
Objetivo Centro Interescolar Unidade Paulista - São Paulo - SP

Amanda Yu Kato Lee
Colégio Etapa Vila Mascote - São Paulo - SP

Amely Uzzun
Liceu Jardim - Santo André - SP

Ana Clara Oliveira Campos Lima
Centro de Excelência Master - Aracaju - SE

Ana Vilela de Sales Piccinini
Colégio Bernoulli - Unidade Gonçalves Dias - Belo Horizonte - MG

Barbara Emi Chiba
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Beatriz Henrique Fujihashi
*Escola de Ensino Fundamental e Médio
Nikkei de Tomé-Açu - Tomé-Açu - PA*

Beatriz Machado Rodrigues
Colégio Master LTDA - Campo Grande - MS

Gabriela Gonçalves Cedraz
*Colégio Ari de Sá Cavalcante -
Washington Soares - Fortaleza - CE*

Gabriela Wernick dos Santos
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Helena Takada
*Objetivo Centro Interescolar Uni-
dade Paulista - São Paulo - SP*

Isis Cristina Pereira Ferreira
Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE

Jamile Torres de Moraes
*Colégio Militar do Corpo de Bombeiros Es-
critora Rachel de Queiroz - Fortaleza - CE*

Julia Greco
*Objetivo Centro Interescolar Uni-
dade Paulista - São Paulo - SP*

Laís Silva Moiseis Venâncio
*Fieb Professora Maria Theodora Pe-
dreira de Freitas - Barueri - SP*

Maira de Oliveira Barros
Colégio Teleyos - Fortaleza - CE

Mariana Freitas Moraes
Colégio Santa Marcelina - Belo Horizonte - MG

Sofia Barbosa Lima
Educandário Sagrada Família - Canindé - CE

Sofia Silva dos Santos
Colégio Odete São Paio - São Gonçalo - RJ

Vitória Valeska Sousa Santos
Colégio Objetivo - Teresina - PI

Medalhistas TFM 2024

1º ano do Ensino Médio

Medalha de Ouro

Biatriz Soares Silva

Colégio Master - Fortaleza - CE

Franciellen Rodrigues Magalhães

EEM de Campos Sales - Campos Sales - CE

Helena Akemy Araujo Miura

Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP

Isabella Aparecida Gonçalves Porto

CEFET-MG campus Divinópolis - Divinópolis - MG

Isadora Barroso Silva Lôbo

Colégio Master 8 EF a 3 EM - Fortaleza - CE

Julia Ayumi Miyahira Togava

Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Letícia Levini Cerutti

CEFET-MG campus Varginha - Varginha - MG

Letícia Samara Macêdo do Nascimento
Colégio GGE - Recife - PE

Melissa Hefti Gargiulo
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Medalhistas TFM 2024

1º ano do Ensino Médio

Medalha de Prata

Alice Dourado Dias Prieto

Colégio Militar Dom Pedro II - Brasília - DF

Amanda Seillier Navai

Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Daniele Oliveira Silva

Escola Crescer - Parnaíba - PI

Emily Minori Watanabe

Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP

Esther Amparo Jorge Lanzarotto

Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Gabriely Gubert Pianowski

Colégio Sagrada Família São José - Ponta Grossa - PR

Karen Wang Shen

Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Leticia Gilvana da Costa
U E Martinho Vieira - Patos do Piauí - PI

Luiza Fachetti de Amorim
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Maria Júlia Leite Mendes
Colégio Master - Fortaleza - CE

Nicolly Losso Ribeiro
*Objetivo do Litoral Centro Educa-
cional Unidade VI - Santos - SP*

Rita de Cássia de Figueiredo Sousa
U E Martinho Vieira - Patos do Piauí - PI

Sofia Costa Lima Pinheiro
*Colégio Ari de Sá Cavalcante
Sede Aldeota - Fortaleza - CE*

Vitória Feitosa de Oliveira
Colégio Militar Dom Pedro II - Brasília - DF

Yasmin Caixeta Oliveros
Colégio Etapa - Valinhos - SP

Medalhistas TFM 2024

1º ano do Ensino Médio

Medalha de Bronze

Ana Júlia Lopes Rodrigues

*EEEP Maria Altair Américo
Sabóia - Independência - CE*

Ana Lara de Oliveira Gomes

Colégio Teleyos - Fortaleza - CE

Ana Sophia Florêncio Felix

Colégio Master - Fortaleza - CE

Anna Karolina Alves Dias

Colégio GGE - Recife - PE

Annelise Ramos Moreira

Sesi 160 Centro Educacional - Jacareí - SP

Antonia Ana Clara Moraes Rodrigues

EEMTI Renato Braga - Fortaleza - CE

Beatriz Nascimento Silva

U E Martinho Vieira - Patos do Piauí - PI

Carolina Ruegger Nascimento
Liceu Jardim - Santo André - SP

Cecilia Zanlorenssi Herold
Colégio Marista de Maringá EI EF EM - Maringá - PR

Isabella Amaro Baia de Araujo
Colégio Teleyos - Fortaleza - CE

Isabelle Donadon dos Santos
Colégio Poliedro - São Paulo - SP

Isang Hu
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Katarina Veljovic
IFES campus Serra - Serra - ES

Keity Marie Gomes do Nascimento
Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Luane Christine Galvin Braga
Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Luísa Marangão da Fonseca
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Luísa Oliveira Levay Reis
Colégio Militar Tiradentes - Brasília - DF

Maria Fernandes Felisberto
Colégio Poliedro - São Paulo - SP

Marianne Wernick dos Santos
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Samilly Viera Marques Bizerra
EEEP Wellington Belém de Figueiredo - Nova Olinda - CE

Sara Elen Farias Ferreira da Silva
Escola Estadual Doutor Severiano - Macaíba - RN

Virna Nunes Prado
Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE

Wattha Letícia Duarte de Holanda
IFRN campus Apodi - Apodi - RN

Yasmin Camargo Ribeiro
CEFET-MG campus Varginha - Varginha - MG

Medalhistas TFM 2024

2º ano do Ensino Médio

Medalha de Ouro

Ágata Virginia Cordeiro Delmondes
EEM de Campos Sales - Campos Sales - CE

Amanda de Lima e Oliveira
Colégio Master Sul - Fortaleza - CE

Anna Beatriz Araújo
IFBA campus Irece - Irecê - BA

Giovanna Karolinna Ribeiro de Queiroz
Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP

Letícia Rodrigues de Freitas Pinheiro
*Colégio Ari de Sá Cavalcante
Sede Aldeota - Fortaleza - CE*

Maria Eduarda Balreira Pinto
*Colégio Farias Brito Pré-
vestibular Aldeota - Fortaleza - CE*

Maria Eduarda Mota Venancio

EEEP Wellington Belém de Figueiredo - Nova Olinda - a

Raquel Rebelo Brito Aguiar

Colégio Santa Maria - Recife - PE

Victória Soares de Souza

Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Yasmim de Lima Marciano

CEFET-MG campus Varginha - Varginha - MG

Medalhistas TFM 2024

2º ano do Ensino Médio

Medalha de Prata

Amanda Miho Yazaki

Colégio Etapa III - São Paulo - SP

Ana Soraia Barroso Silva

Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Bruna Caroline Pereira Prata

IFMG campus Betim - Betim - MG

Carolina Helena de Piza Christofolletti

Colégio Oficina do Estudante - Campinas - SP

Cecília dos Santos Goes

*Colégio Ari de Sá Cavalcante
Sede Aldeota - Fortaleza - CE*

Débora de Oliveira Leite

Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Emily Beatriz Lemos da Silva

Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Fernanda Jardim Santana

Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Gabriela Amaral de Brito

*Colégio EI-EF-EM Platão de
Apucarana - Apucarana - PR*

Giovanna Lacerda de Oliveira

Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP

Giovanna Maria Carvalho Santos

Instituto Dom Barreto Centro - Teresina - PI

Isabela Jimenez Lin

Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP

Isadora Lima Silva

Colégio Objetivo - Teresina - PI

Jamile Rafaela Delmondes Oliveira

Colégio CEV - Unidade Jockey - Teresina - PI

Júlia Cardoso Abreu

*Colégio da Polícia Militar do Ceará Te-
nente Mario Lima - Maracanaú - CE*

Laís Corrêa Carvalho

IFSP campus Suzano - Suzano - SP

Laryssa Souza Cunegundes Garcia
IFBA campus Jacobina - Jacobina - BA

Leticia Antunes de Freitas
Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Letícia Soares Losi
Sesc Escola Horto - Campo Grande - MS

Livia Fernandes Tabosa
Colégio e Curso Evolução - João Pessoa - PB

Maria Micaele Pereira Cardoso
CEEPRU Professor Antônio de Brito Fortes - Piracuruca - PI

Mariane Cardoso de Moraes
Great International School - Teresina - PI

Rafaela de Mendonça de Aguiar
Colégio e Curso Pensi - Tijuca 2 - Rio de Janeiro - RJ

Raissa Loana Moreira Gomes
Colégio Farias Brito Pré-vestibular Aldeota - Fortaleza - CE

Rebeca Tabaldi de Souza
IFSC campus Joinville - Joinville - SC

Sara Viana Pinheiro
Colégio Master - Fortaleza - CE

Medalhistas TFM 2024

2º ano do Ensino Médio

Medalha de Bronze

Alana Luiz Silva
Colégio Etapa - Valinhos - SP

Amanda Casthelle Silva e Silva
Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Ana Karen Silveira Pereira Caracas
Colégio Militar de Fortaleza - Fortaleza - CE

Ana Luísa Barros Silva
*Anbeas - Colegio Sagrado
Coração de Jesus - Teresina - PI*

Anne Beatriz Lima da Silva
*Centro de Excelência Maria das
Graças Menezes Moura - Itabi - SE*

Bianca Mayumi Yamamoto de Carvalho Machado
Colégio Marista de Maringá EI EF EM - Maringá - PR

Camila Dias Teixeira
Colégio Ângulo de Viçosa - Viçosa - MG

Ester Passos Reis dos Santos
Escola Popular Madre Maria Villac - Teresina - PI

Gabriela Barbieri Stroeh
Colégio Etapa - Valinhos - SP

Heloyza Batista de Sousa Neves
*Colégio de Educação Básica Santa
Esmeralda - Arapiraca - AL*

Isabela Correia Shimabukuro
Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP

Isabella Machado Soares
Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Isabelly Chen
Colégio Objetivo Integrado - São Paulo - SP

Júlia Beatriz Demenech Mori
IFPR campus Londrina - Londrina - PR

Júlia Moura Menezes
Colégio Master - Fortaleza - CE

Júlia Soares Silva

Escola Educação Criativa - Ipatinga - MG

Julia do Carmo Bonilha

IFPR campus Londrina - Londrina - PR

Juliana de Prado Campos Ferreira

Colégio Arena - Goiânia - GO

Kailani Yona da Silva Souza

IFPE campus Paulista - Paulista - PE

Karen Miwa Okai

Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Lara Késsya Costa de Paula

Colégio Teleyos - Fortaleza - CE

Livia Helena da Silva Estevão Araujo

IFES campus Serra - Serra - ES

Lorena Dias de Oliveira Lourenço

CEFET-MG - Belo Horizonte - MG

Luana Valadares Prata de Andrade

Colégio Arena - Goiânia - GO

Luíza Schwantes

Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS

Manuela Issi Bastos

Colégio Arena - Goiânia - GO

Maria Clara Gonçalves Gadêlha

*Colégio Motiva - Centro Campinense de
Educação LTDA - Campina Grande - PB*

Maria Clara Kanzler

EEM Prof Darci Franke Welk - Jaraguá do Sul - SC

Maria Clara Queiroz Moreira

CFI - Colégio de Formação Integral - Recife - PE

Maria Gabriella Oliveira Carvalho Sá

GGE Vestibulares - Recife - PE

Maria Luiza Baracho

Liceu Jardim - Santo André - SP

Maria Luiza do Vale Carvalhal

Colégio Educallis - São Luís - MA

Nicole Lima da Silva

*Objetivo Centro Interescolar Uni-
dade Paulista - São Paulo - SP*

Nicole Silva dos Santos
IFBA campus Jacobina - Jacobina - BA

Paula Huan Zhi Zeng
*Objetivo Centro Interescolar Uni-
dade Vergueiro - São Paulo - SP*

Sarah Evangelina Silva Dantas
7 de Setembro Colegio - EBS - Fortaleza - CE

Suzana Vitorino de Souza
Instituto Educacional de Americana - Americana - SP

Taysa Fernanda Luz Moreira
Instituto Dom Barreto Centro - Teresina - PI

Medalhistas TFM 2024

3º e 4º anos do Ensino Médio

Medalha de Ouro

Ana Carolina de Oliveira Santos
Colégio Ari de Sá Cavalcante
Sede Aldeota - Fortaleza - CE

Ana Luiza Franco de Araujo
Colégio Farias Brito Pré-
vestibular Central - Fortaleza - CE

Clara Nogueira Rodrigues
UFMG - Colégio Técnico - Belo Horizonte - MG

Emanuelly Santos
IFNMG campus Januarina - Januária - MG

Gabriela Naomi Ichicawa Ogido
Colégio Bandeirantes EFM - São Paulo - SP

Helena Vieira Lima
Colégio Master - Fortaleza - CE

Isabela Xavier de Miranda
*Colégio Pedro II campus Rea-
lengo II - Rio de Janeiro - RJ*

Isabelle Marin Della Méa
*Colégio Farias Brito Pré-
vestibular Aldeota - Fortaleza - CE*

Livia Saraiva da Costa
*Colégio Farias Brito Pré-
vestibular Aldeota - Fortaleza - CE*

Luiza Lanza Lopes Temponi
Colégio Bernoulli - Belo Horizonte - MG

Medalhistas TFM 2024

3º e 4º anos do Ensino Médio

Medalha de Prata

Ágatha Gonçalves do Nascimento
EEEP Professor Plácido Aderaldo Castelo - Mombaça - CE

Ana Gabriela Pinho Nobrega
Colégio Master - Fortaleza - CE

Ana Laura Brenner
Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha - Novo Hamburgo - RS

Ananda Nicole Ferreira de Souza
Colégio 3º Milênio - Limoeiro - PE

Ayana Cristina de Araújo Silva
Colégio Militar Tiradentes V - Timon - MA

Érika Carneiro
Escola Luz Divina - Salvador - BA

Francisca Jamile Pedrosa Umbelino
EEEP Professor Plácido Aderaldo Castelo - Mombaça - CE

Gisela Ceresér Kassick
Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS

Isabela Parron Medauar
Colégio Etapa de EFM - São Paulo - SP

Isadora Alcântara Lima
EEEP Gerardo Cristino de Menezes - Coreaú - CE

Jamille de Sena Oliveira Lima
Colégio Militar Tiradentes V - Timon - Timon - MA

Laura Miranda de Albuquerque
Colégio GGE - Recife - PE

Lisandra Menezes Fagundes
Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS

Mabel Amaê Barbosa Acácio
Colégio Master - Fortaleza - CE

Maria Clara Cruz Mota
Colégio Farias Brito Sobralense - Sobral - CE

Maria Isabelly Soares Pedrosa

EEEP Professor Plácido Aderaldo Castelo - Mombaça - CE

Nádia Xavier Silva de Araújo

IFRN campus Natal - Central - Natal - RN

Raika Vieira Silva

IFNMG campus Almenara - Almenara - MG

Samara Hermínia Pagan Rodrigues

Colégio Villa Lobos - Amparo - SP

Semily Souza Nascimento

IFBA campus Porto Seguro - Porto Seguro - BA

Stephany Vitoria Fernandes Silva

Fundação Matias Machline - Manaus - AM

Tarsila Ribeiro do Nascimento

Colégio Militar Tiradentes V - Timon - Timon - MA

Vitoria Gomes Ramos

EEEP Gerardo Cristino de Menezes - Coreaú - CE

Medalhistas TFM 2024

3º e 4º anos do Ensino Médio

Medalha de Bronze

Ana Heloisa Morais Assunção
IFMG campus Governador Valadares - Governador Valadares - MG

Ana Luisa Nascimento Santos
CETI José Narciso da Rocha Filho - Piripiri - PI

Beatriz Amaral
Liceu Portinari de Ensino Médio - Limeira - SP

Beatriz Carvalho Valois Marinho
IFBA campus Jacobina - Jacobina - BA

Bianca Celi dos Santos
Colégio Militar de Porto Alegre - Porto Alegre - RS

Brigite Milan Câmara
Ábaco III Colegio - São Bernardo do Campo - SP

Clara Porto Scartezini
CED Projecao Sobradinho - Brasília - DF

Driely Muniz Ayres

EE Professor Sebastião Fernandes Palma - Ribeirão Preto - SP

Frida Terto Abrantes de Almeida

Colégio Santa Marcelina - São Paulo - SP

Gabriela Maria Barros Lima

Colégio Ari de Sá Cavalcante - Duque de Caxias - Fortaleza - CE

Giovana Leite Paião

IF Sul de Minas - campus Poços de Caldas - Poços de Caldas - MG

Giovanna Batelli Cardoso

Colégio Amorim - São Paulo - SP

Gisele Quaresma Rocha

ETEC Parque Belém - São Paulo - SP

Hevellyn Samanta Santos Medeiros

U E EMB Espedito Resende - Piripiri - PI

Isadora Bezerra Moraes

CETI Cônego Cardoso - Castelo do Piauí - PI

Jovânia Alves Pinto de Oliveira
IFNMG campus Januária - Januária - MG

Kamilla Araújo Hermenegildo
IFBA campus Barreiras - Barreiras - BA

Livia da Cruz Viana
Escola Sesi Emilia Massanti - Belo Horizonte - MG

Maria Alice Dantas Diógenes
IFRN campus Apodi - Apodi - RN

Maria Daiane da Silva Magalhães
CEEPRU Governador Hugo Napoleão - Piripiri - PI

Maria Eduarda Candeira Moraes
IFB campus Riacho Fundo - Brasília - DF

Maria Eduarda Silva Brandão
7 de Setembro Colegio - EBS - Fortaleza - CE

Maria Fernanda Soares da Rocha
*Escola Técnica Estadual José Humberto
de Moura Cavalcanti - Limoeiro - PE*

Maria Fernanda Spagliari Gomes Ferreira
Colégio Santa Marcelina - São Paulo - SP

Mariana Mello Assis de Bem
IF Sudeste MG campus Muriaé - Muriaé - MG

Mariana Pimentel Silva
IFMG campus Governador Valadares - Governador Valadares - MG

Mariana de Oliveira Zolesi
Colégio Santa Marcelina - São Paulo - SP

Marianna Augusta Dantas
IFRN campus Currais Novos - Currais Novos - RN

Ranyele da Silva Mazoque
IF Sudeste MG campus Muriaé - Muriaé - MG

Rebeka Yasmim Martins de Oliveira
IFRN campus Natal - Central - Natal - RN

Victtória Mayra Sinésio Ferreira
Colégio Pedro II campus Centro - Rio de Janeiro - RJ

Yasmin Vitória Graça
Escola Estadual Professor Eduardo Soares - Alambari - SP



Estatísticas de participantes



Estudantes inscritas

Na edição do Torneio de Física para Meninas de 2024 tivemos 3873 meninas inscritas para realizar a prova online da primeira fase, o que representa um aumento de 119% com relação à edição anterior. Inscreveram-se na competição estudantes de 816 escolas em 402 diferentes municípios do Brasil.

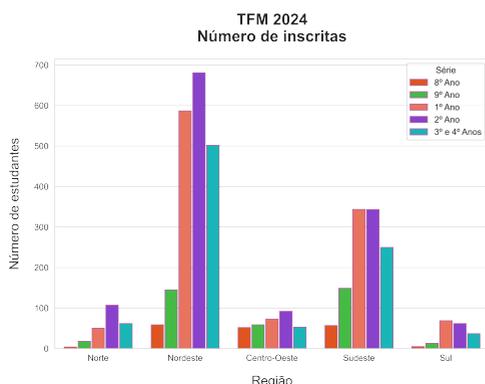


Figura 41: Número de estudantes inscritas no TFM 2024 por série em cada região do país.

Com exceção da região sudeste, na qual o número de estudantes provenientes de escolas públicas é levemente inferior ao de escolas privadas, a maior parte das estudantes inscritas no TFM 2024 é de escolas públicas. No total, as escolas públicas representaram 65% das inscrições.

Do total de inscritas, a região nordeste destaca-se em número de inscritas no ensino médio, em comparação com as demais regiões. As inscritas no ensino fundamental concentram-se no Nordeste e Sudeste, com números semelhantes. O número de estudantes do 2º ano do ensino médio é superior ao das demais séries.

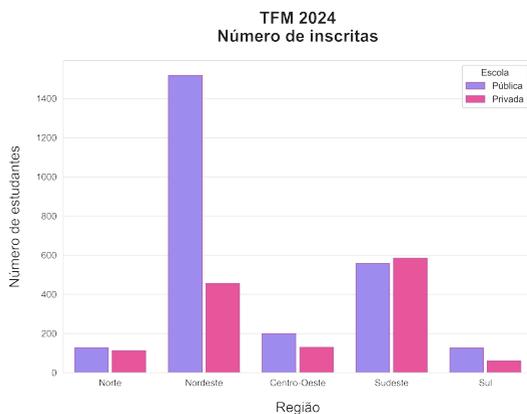


Figura 42: Número de estudantes inscritas no TFM 2024 por tipo de escola (pública ou privada) em cada região do país.

Na figura 43 está destacada a participação de estudantes de todos os estados do Brasil. Esse resultado é considerado extraordinário por se tratar da 2ª edição do TFM.

No mapa em destaque na figura 43, está representada a variação no número de inscritas entre a 1ª e a 2ª edição do TFM. Destacaram-se os estados do Piauí e de Pernambuco, com um aumento expressivo de estudantes inscritas.

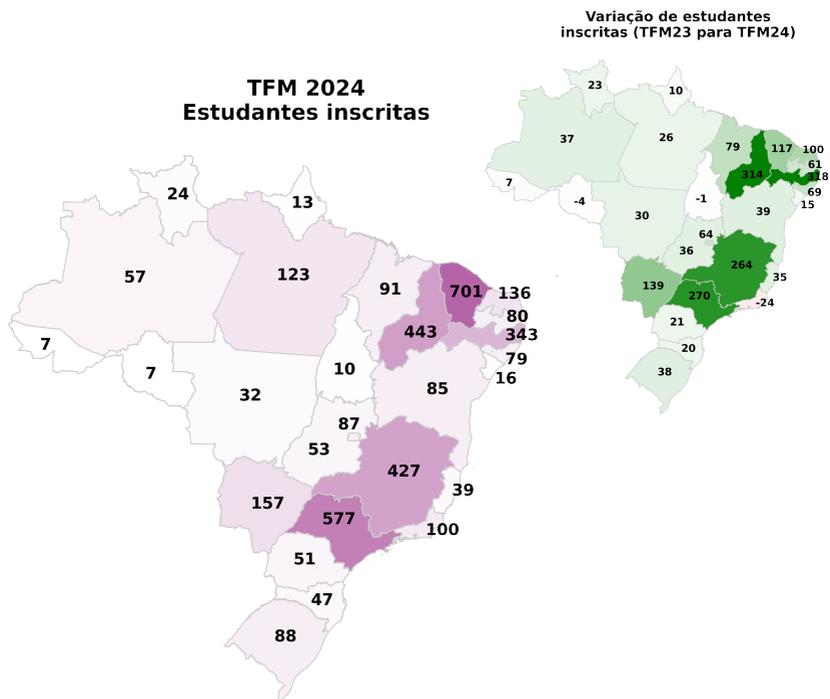


Figura 43: Distribuição de estudantes inscritas no TFM 2024, por estado. No mapa em destaque está indicada a variação, em número de estudantes inscritas, entre as edições do TFM 2024 e TFM 2023 para cada estado brasileiro.

Participantes da 2ª fase

Nesta edição, 792 estudantes foram selecionadas para fazer a 2ª fase. As provas foram realizadas presencialmente em 147 locais de aplicação distribuídos em todo o Brasil.



Foram aprovadas para a 2ª fase estudantes de todas as cinco regiões do Brasil. O destaque foi, novamente, para a região nordeste por ter atingido a maior concentração de estudantes nessa etapa.

Figura 44: Número de estudantes participantes da 2ª fase do TFM 2024 por série em cada região do país.

A distribuição entre estudantes de escolas públicas e privadas classificadas para a 2ª fase mostra-se equilibrada. Aqui destacam-se o Sudeste na participação de estudantes de escolas privadas e o Nordeste na participação de estudantes de escolas públicas.



Figura 45: Número de estudantes participantes da 2ª fase do TFM 2024 por tipo de escola (pública ou privada) em cada região do país.

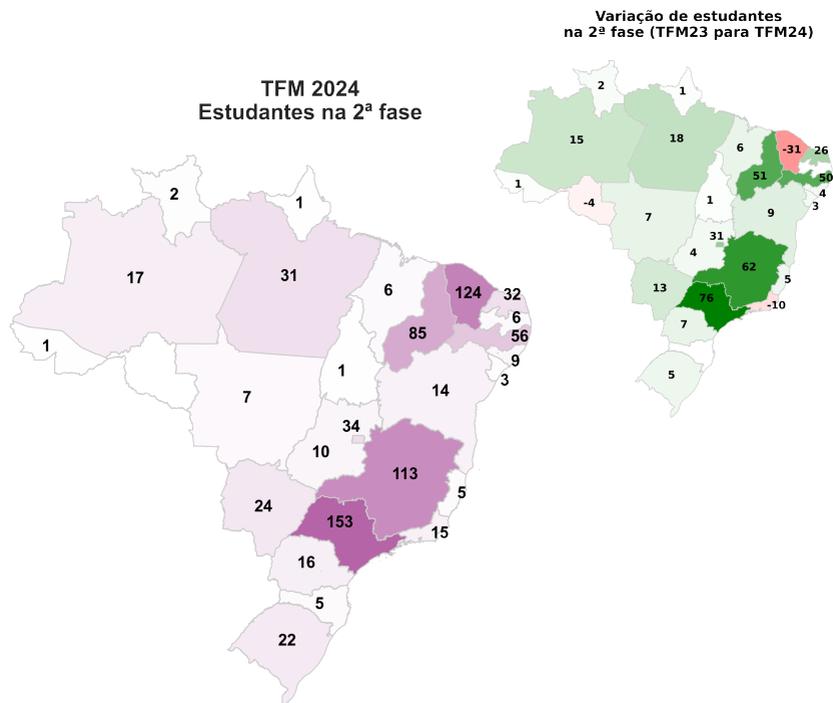


Figura 46: Número de estudantes participantes da 2ª fase do TFM 2024 em cada estado brasileiro. No mapa em destaque está indicada a variação, em número de estudantes, entre as edições do TFM 2024 e TFM 2023 para cada estado brasileiro.

Com relação à distribuição por estado, na 2ª fase participaram estudantes de todos os estados (veja a figura 46), exceto Rondônia. No mapa em destaque que representa a variação de estudantes dessa edição em relação à edição de 2023, podemos notar que apenas três estados tiveram diminuição de estudantes. Entretanto, considerando o impacto do Ceará no TFM, segundo estado com maior número de participantes, a diminuição de estudantes na 2ª fase significa uma melhor distribuição entre outros estados brasileiros.

Estudantes medalhistas

No TFM 2024 foram premiadas 256 estudantes com medalhas de ouro, prata e bronze. Essas estudantes estão distribuídas em 83 municípios diferentes e 140 escolas.

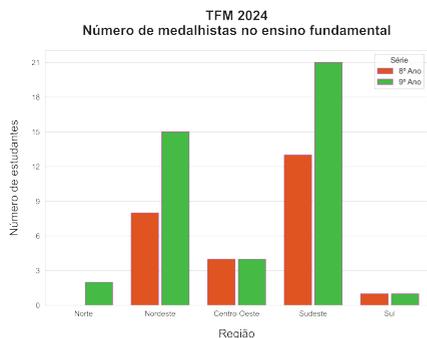


Figura 47: Número de estudantes do ensino fundamental premiadas no TFM 2024 por série em cada região do país.



Figura 48: Número de estudantes do ensino médio premiadas no TFM 2024 por série em cada região do país.

As figuras 47 e 48 mostram que a concentração de premiadas do ensino fundamental e do ensino médio está nas regiões Sudeste e Nordeste. O Sudeste destaca-se pelo número de meninas premiadas no ensino fundamental, enquanto que no ensino médio, a maior parte das estudantes premiadas está na região Nordeste.



Figura 49: Número de estudantes premiadas no TFM 2024 por tipo de escola (pública ou privada) para cada medalha (ouro, prata e bronze).

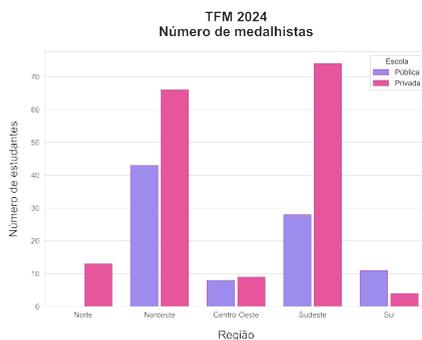


Figura 50: Número de estudantes premiadas no TFM 2024 por tipo de escola (pública ou privada) em cada região do país.

Entre estudantes de escolas públicas e privadas a distribuição percentual de medalhas foi de 35% e 65%, respectivamente, sendo no Nordeste a maior concentração de estudantes medalhistas de escolas públicas. A região Sul é a única onde o número de medalhistas de escolas públicas supera o número de meninas de escolas privadas.

Houve medalhistas de ouro, prata e bronze nas cinco regiões do país. Com relação à distribuição de medalhas de ouro, prata e bronze, a região Nordeste teve o melhor desempenho entre as medalhas de ouro e prata, enquanto a região Sudeste se destacou em número de medalhistas de bronze.

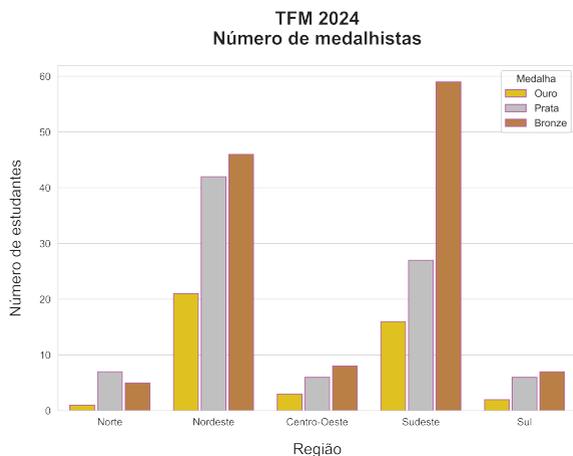


Figura 51: Número de estudantes premiadas no TFM 2024 por tipo de medalha (ouro, prata ou bronze) em cada região do país.

No mapa da figura 52 está representada a distribuição de medalhistas por estado. São Paulo é o estado com maior número de meninas premiadas, seguido pelo estado de Ceará.

Foram premiadas estudantes em 21 estados diferentes, na edição anterior eram 18 estados. Esse aumento mostra uma maior diversidade geográfica de estudantes medalhistas. Isso está em consonância com a premissa do TFM de inspirar meninas onde quer que elas estejam.

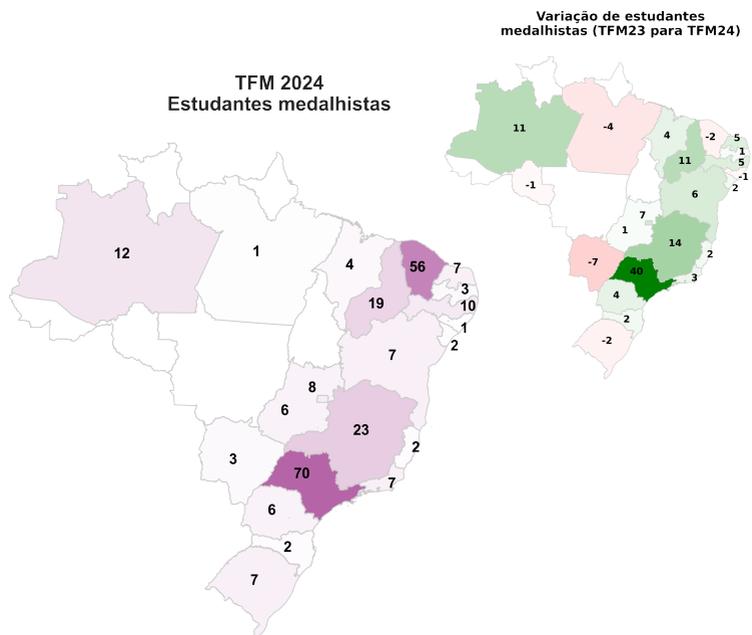


Figura 52: Número de estudantes medalhistas no TFM 2024 em cada estado brasileiro. No mapa em destaque está indicada a variação, em número de estudantes, entre as edições do TFM 2024 e TFM 2023 para cada estado brasileiro.



Comissão organizadora



Comissão Organizadora

Maria Luiza Miguez (IFNMG & IIF-UFRN)
Coordenadora Geral

Nara Martini Bigolin (UFSM)
Coordenadora do Movimento Meninas Olímpicas

Graciana dos Santos de Sousa (IFPA)

Juliana Rodrigues Franco (IFMG)

Nadia Ferreira de Andrade Esmeraldo (IFCE)

Nathália Beretta Tomazio (IF-USP)

Yara Hellen Firmo Gomes (IFSC-USP)

Fernando Wellysson de Alencar Sobreira (IFCE & IIF-UFRN)

Klaus Werner Capelle (UFABC & IIF-UFRN)

Robson Campanerut da Silva (IFCE)

Instituições apoiadoras



Instituições promotoras



Financiamento



Instituição realizadora





Escaneie o QR CODE
e acesse nossas
publicações

