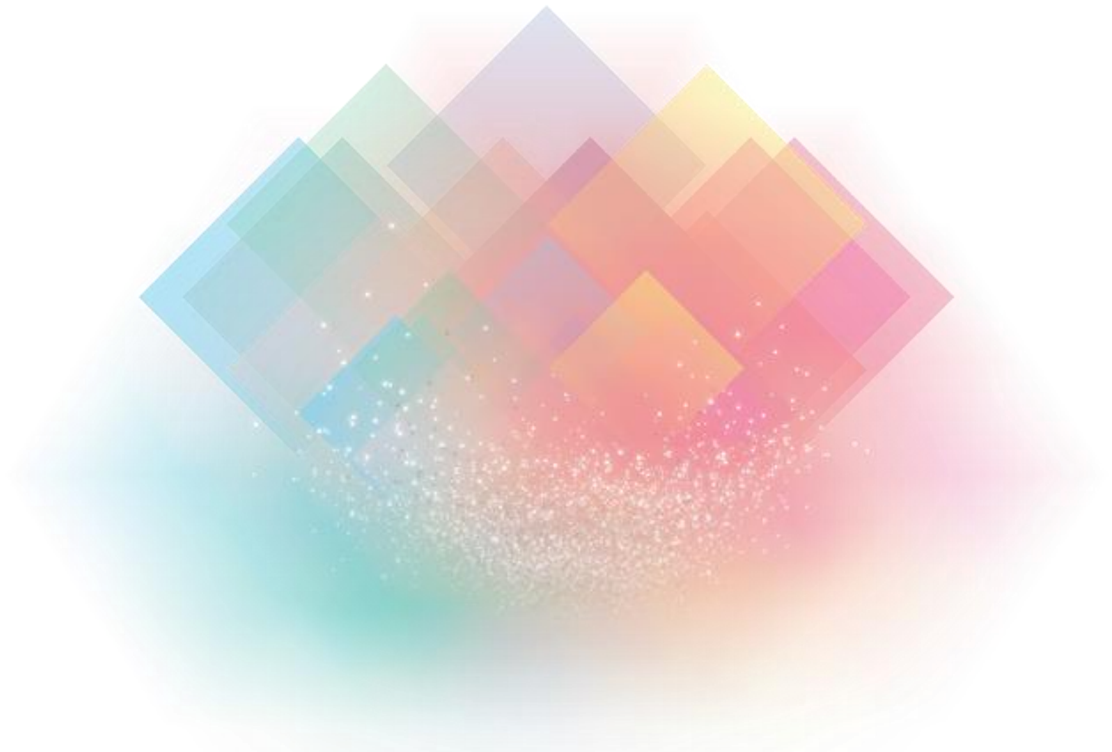
Ministério da Educação
Universidade Federal do Rio Grande - FURG
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas

GeoCristal: Desvendando as Estruturas Cristalinas Através da Geometria Espacial



Autores:
Fernanda Rodrigues Ribeiro Weiand
Rosângela Menegotto Costa
Charles dos Santos Guidotti

Santo Antônio da Patrulha
Julho de 2023

Ficha Catalográfica

W415g Weiand, Fernanda Rodrigues Ribeiro.
GeoCristal: desvendando as estruturas cristalinas através da Geometria Espacial [Recurso Eletrônico] / Fernanda Rodrigues Ribeiro Weiand. – Santo Antônio da Patrulha, RS: FURG, 2023.
55 f. : il. color.

Produto Educacional da Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas, para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências Exatas, sob a orientação da Dra. Rosângela Menegotto Costa e do Dr. Charles dos Santos Guidotti.
Disponível em: https://ppgece.furg.br/
https://educapes.capes.gov.br/

1. Ensino 2. Geometria Espacial 3. Estruturas Cristalinas 4. Aprendizagem Significativa 5. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa I. Costa, Rosângela Menegotto II. Guidotti, Charles dos Santos III. Título.

CDU 514

Catalogação na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO

Este produto educacional foi elaborado a partir da dissertação de Mestrado intitulada Geometria Espacial Aplicada ao Conceito de Estruturas Cristalinas, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas (PPGECE) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) campus Santo Antônio da Patrulha, RS. A pesquisa objetivou construir, de acordo com Moreira (2011), uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), seguindo os princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel (1980), para ser implementada, na disciplina de matemática, após o ensino da geometria espacial, no Ensino Médio.

O referido produto educacional intitulado GeoCristal: Desvendando as Estruturas Cristalinas Através da Geometria Espacial, foi planejado seguindo os princípios da UEPS e oportuniza uma discussão do conceito de estruturas cristalinas como uma aplicação da geometria espacial. Apoiado por diversas atividades experimentais, como, por exemplo, a construção de maquetes de estruturas geométricas. Utilizamos a experimentação com o objetivo de que ocorra aprendizagem significativa.

Este produto educacional consiste em uma sequência de atividades organizadas em três módulos: Módulo I com os Tópicos 1 e 2, Módulo II com os Tópicos 3 e 4 e Módulo III com os Tópicos 5 e 6.

Para possibilitar melhor compreensão sobre os temas abordados, na sequência organizamos dois capítulos nos quais as UEPS são conceituadas de maneira relacionada com as atividades do produto e apresentamos uma introdução simplificada ao tema de estruturas cristalinas. Na sequência temos a UEPS e a bibliografia. A dissertação com a fundamentação teórica detalhada pode ser acessada no site do PPGECE.[1]

---

[1] Link: https://ppgece.furg.br/dissertacoes-e-teses

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Alguns aspectos sobre Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

As atividades que constituem esse produto educacional foram organizadas de forma que se aproximam dos princípios de uma UEPS, que são conceitos desenvolvidos por Moreira (2011), no qual define que as "UEPS são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula".

Os passos (Quadro 1) que Moreira (2011) indica para a construção de uma UEPS são assumidos, neste produto, não como fechados e rígidos, entende-se que eles possam ser utilizados de diferentes formas.

Quadro 1 - Passos para construção de uma UEPS.

Descrição das principais ideias de cada passo
1° Passo: Definir o tópico a ser abordado, identificar aspectos declarativos e procedimentais.
2° Passo: Propor situações que levem o estudante a externalizar seus conhecimentos prévios.
3° Passo: Propor situações-problema, em nível bem introdutório, de modo acessível e problemático, levando em conta o conhecimento prévio do estudante - organizadores prévios - devem dar sentido ao novo conhecimento. Não devem ser exercícios de aplicação rotineira.
4° Passo: Apresentar o conhecimento novo, levando em conta a diferenciação progressiva, iniciar com aspectos mais gerais, inclusivos, mas logo exemplificar com aspectos mais específicos.
5° Passo: Retomar os aspectos mais gerais, estruturantes, em uma nova apresentação, porém em nível mais alto de complexidade, promover a reconciliação integradora. Propor atividade colaborativa com negociação de significados entre os estudantes e com mediação do professor.
6° Passo: Retomar as características mais relevantes do conteúdo, buscando a reconciliação integrativa, seguindo o processo de diferenciação progressiva. Propor novas situações-problema em níveis mais altos de complexidade; com atividades colaborativas com discussão em grande grupo, sempre com a mediação do docente.

7° Passo: Avaliar também de forma somativa, individual, evidenciando captação de significados, compreensão, capacidade de explicar e de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema.
8° Passo: Analisar a UEPS buscando evidências de aprendizagem significativa na avaliação do desempenho dos estudantes.

Fonte: Adaptado[2] pela autora de Moreira, 2011, p. 44-45.

No Quadro 2 temos a relação dos módulos e tópicos desta UEPS relacionados aos passos descritos por Moreira (2011) com uma descrição simplificada de cada tópico. Para contemplar o item de avaliação do passo 7, pode-se analisar as falas dos estudantes durante as exposições de ideias e diálogos ocorridos no decorrer da realização das atividades, a escrita em avaliações individuais em grupo e o desempenho.

Quadro 2 – Relação dos módulos e tópicos da UEPS produto com os passos descritos por Moreira (2011).

Módulos da UEPS	Tópicos da UEPS	Descrição do Tópico	Passos
Módulo I Relembrar conceitos relativos à constituição da matéria. Introdução do tema a ser desenvolvido	Tópico 1	Introdução do tema de estruturas cristalinas; criar/acessar subsunçores	1, 2 e 7
	Tópico 2	Volume esférico de um átomo isolado; área e volume da esfera; massa específica	2 e 7
Módulo II Discussão do conceito de redes cristalinas	Tópico 3	Analogia às redes cristalinas; Aplicação de conceitos da geometria espacial nas redes cristalinas	3 e 7
	Tópico 4	Redes de Bravais. Visualizar, manusear, medir e construir estruturas geométricas representativas das redes cristalinas	3 e 7
Módulo III Discussão do conceito de estruturas cristalinas. Exercícios com temas trabalhados ao longo da UEPS	Tópico 5	Formação das estruturas cristalinas a partir do conceito de rede + base	4, 5, 6 e 7
	Tópico 6	Exercícios contemplando os conceitos da química, física e matemática	6 e 7

Fonte: Autoria própria, 2023.

[2] Os passos listados por Moreira (2011) foram resumidos e organizados aqui em um quadro pela autora.

2.2 Estruturas Cristalinas

2.2.1 Introdução

Estruturas cristalinas é um conteúdo trabalhado, normalmente, no Ensino Superior. Nesta UEPS fazemos uma transposição deste conteúdo para Ensino Médio, relacionando-o com a geometria espacial. Usamos, como referência básica, o livro Estado Sólido, Pureur (2001).

A estrutura cristalina, que consiste em um modelo utilizado para descrever os cristais (que são sistemas físicos reais), descreve a maneira segundo a qual os átomos ou moléculas estão espacialmente arranjados. Na estrutura cristalina, os átomos ou moléculas, que chamamos de base, são associados a pontos dispostos num retículo geométrico espacial que chamamos de rede cristalina. Na Figura 19 vemos um exemplo de uma estrutura cristalina onde a base, constituída de um único átomo genérico, é associada a cada ponto de uma rede cristalina.

Podemos, portanto, considerar os cristais como arranjos atômicos ou moleculares, cuja estrutura se repete numa forma periódica em três dimensões (3D). As estruturas cristalinas apresentam dois níveis de simetria: a translacional e a do grupo do ponto. A do grupo do ponto se manifesta numa escala local e diz respeito às operações de reflexão e rotação que podem ser executadas com a unidade cristalina sem deslocá-la por translação. Vamos tratar aqui somente da simetria translacional, que está diretamente associada às características da rede cristalina.

A rede cristalina, que é um conceito matemático abstrato, se caracteriza por um arranjo infinito de pontos dispostos regularmente no espaço, de modo que qualquer ponto da rede pode ser localizado por um vetor de translação, dado pela equação 1, e que expressa a condição de simetria translacional:

$$\vec{l} = n_1\overrightarrow{a_1} + n_2\overrightarrow{a_2} + n_3\overrightarrow{a_3}, \tag{1}$$

onde n_1, n_2 e n_3 são números inteiros quaisquer e os vetores $\overrightarrow{a_1}, \overrightarrow{a_2}$ e $\overrightarrow{a_3}$ são chamados vetores primitivos. A operação de translação, portanto, conecta dois pontos quaisquer da rede. A imposição da condição de simetria translacional implica num número limitado de redes cristalinas possíveis, que são as chamadas redes cristalinas de Bravais. Existem quatorze redes de Bravais que, devido às suas características (ângulos e tamanho das arestas), são agrupadas em sete sistemas cristalinos. Em geral, fazemos a representação das redes a partir de uma única unidade de rede, como apresenta o Quadro 1, no qual a primeira coluna indica o nome e as características das arestas e dos ângulos de cada um dos sete sistemas, na segunda coluna temos os tipos de rede de cada sistema e na terceira coluna temos uma representação de cada rede. A identificação dos ângulos e das arestas deve ser feita de acordo com o modelo descrito na Figura 9, na qual denominamos de a e b as arestas entre a base e as faces laterais e de c a aresta entre as faces laterais. O ângulo α é formado pelas arestas a e c, o ângulo pelas arestas b e c, o ângulo γ pelas arestas a e b que são as arestas da base.

2.2.2 Transposição do conceito de estruturas cristalinas para o Ensino Médio

Aqui apresentamos a forma simplificada com a qual foi introduzido o conceito de estrutura cristalina aos estudantes do Ensino Médio.

Inicialmente discutimos o conceito de rede cristalina. Para isso utilizamos várias pequenas peças com formas de esferas, cilindros, pirâmides, cubos e paralelepípedos. Os estudantes deveriam verificar quais peças permitiriam a formação de blocos com peças idênticas, sem que ficassem espaços vazios. Deste modo, trabalhamos o conceito de redes cristalinas e as suas características, identificando-as como unidades básicas com estruturas idênticas que se repetem no espaço em 3D, de modo a preencher todo o espaço.

Depois de trabalhado, do modo acima descrito, o conceito de rede cristalina, foram introduzidas aos estudantes as redes de Bravais. As redes de Bravais foram identificadas como as unidades básicas produzidas pela natureza na formação dos cristais, ou sólidos cristalinos. Para aprofundar e fixar o conceito de redes de Bravais, os estudantes participaram de aulas com atividades práticas com manuseio, medições e construção de redes.

Para que fosse possível tratar do conceito da associação de uma base (átomo ou moléculas) aos pontos de uma rede, foi necessário que os estudantes relembrassem conceitos relativos à formação da matéria, átomos, moléculas e organização dos átomos nos sólidos. Os estudantes já haviam trabalhado estes conceitos na disciplina de química, por isso, foi escolhido para dar início ao projeto.

Neste ponto devemos salientar que assumimos, de forma explícita, que um átomo isolado ocupa um volume esférico. Entendemos que esta é uma boa aproximação e que está de acordo com as previsões da Mecânica Quântica (EISBERG, 1979). Além disso, este é o modelo assumido na literatura especializada (CALLISTER; RETHWISCH, 2016 e ASHCROFT, 2011). Por isso, desde o início da UEPS, desenvolvemos com os estudantes a ideia do volume esférico ocupado por um átomo isolado.

Uma vez relembradas as ideias relativas ao átomo e introduzida a noção de rede cristalina, foi possível a discussão do conceito de estrutura cristalina como a associação de átomo ou molécula aos pontos das redes de Bravais.

UEPS

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

MÓDULO I

Ao Professor:

Observações:

** Pretende-se realizar uma conversa inicial, composta por alguns questionamentos, nos quais os estudantes devem responder espontaneamente, sem consulta a material didático ou internet. O objetivo é o de identificar qual a percepção dos estudantes sobre a questão "de que é formada a matéria?" e relembrar conceitos relativos ao átomo, já trabalhados na disciplina de química.*

** Para o melhor desenvolvimento das atividades a turma pode ser dividida em trios.*

** Dinâmica: O professor lança uma pergunta, em trio os estudantes definem as respostas, após todos os grupos concluírem, são socializadas as respostas.*

Tópico 1

Objetivo geral:

- Lembrar conceitos trabalhados anteriormente na disciplina de química, referentes a átomos, relacionando com a constituição da matéria. Introduzir o tema de estruturas cristalinas.

Objetivos específicos:

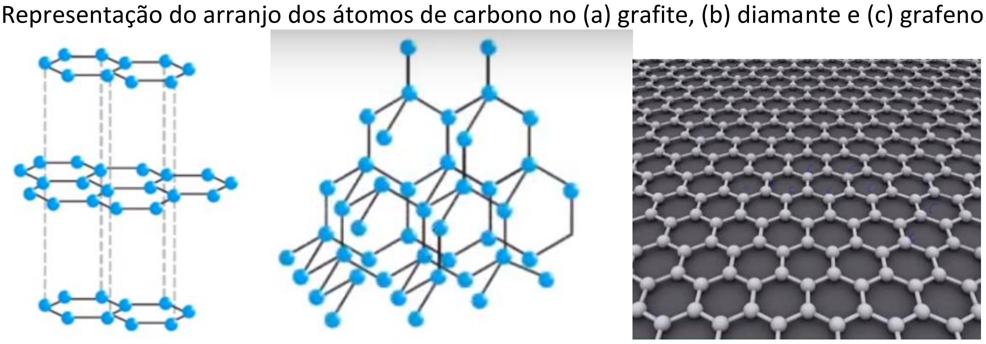
- Problematizar o tema de estruturas cristalinas.
- Proporcionar momentos em que os estudantes devem debater sobre conceitos que possam servir de conceitos subsunçores.
- Promover debates, proporcionar a interação entre os estudantes.

- Buscar informações com os estudantes para construir argumentos sobre átomos, relacionar esses argumentos com a constituição da matéria.
- Incentivar a participação dos estudantes na descrição de conceitos.
- Fixar a ideia de que um átomo isolado ocupa um volume esférico.

Vamos pensar!

Como introdução ao assunto e, de forma a motivar os estudantes a participarem da pesquisa, foi apresentada a Figura 1, que representa a organização dos átomos de carbono no grafite, no grafeno e no diamante.

Figura 1 - Representação do arranjo dos átomos de carbono no (a) grafite, (b) diamante e (c) grafeno.



(a) (b) (c)

Fonte: YouTube. (a) e (b) disponíveis em: https://youtu.be/gl1DVjtGj4M
(c) disponível em: https://youtu.be/LtWAgJK9jGI. Acesso em: 13 jan. 2023.

Também pode ser feita uma breve exposição de informações sobre estes materiais. Após, foi realizado um debate com os estudantes, com o objetivo de que refletissem sobre essa organização dos átomos e sobre o fato de termos materiais diferentes, mesmo sendo compostos pelo mesmo elemento químico, neste caso, o carbono. Neste momento, deve-se declarar que durante a UEPS será trabalhado o conceito de redes cristalinas, onde será possível o entendimento das estruturas apresentadas na Figura 1.

Percepção empírica sobre a questão: “de que é formada a matéria?”

Vamos iniciar a atividade com alguns questionamentos:

Ao Professor:

As respostas podem ser anotadas no quadro para facilitar a análise que pode ser feita em conjunto com a turma!

1) Do que vocês acham que as coisas são formadas?

2) E do que vocês acham que é constituída a matéria?

Toda a matéria, que constitui todos os materiais conhecidos, é formada por uma combinação de elementos químicos. Esses elementos químicos são formados por átomos que, por sua vez, são constituídos por partículas menores: prótons, elétrons e nêutrons. Todos os elementos químicos conhecidos estão elencados na classificação periódica dos elementos.

Aqui podemos lembrar que vocês já estudaram na disciplina de química sobre esta classificação periódica dos elementos químicos, onde se encontram todos os elementos.

Ao Professor:

Neste momento a classificação periódica dos elementos químicos deve estar projetada no quadro da sala!

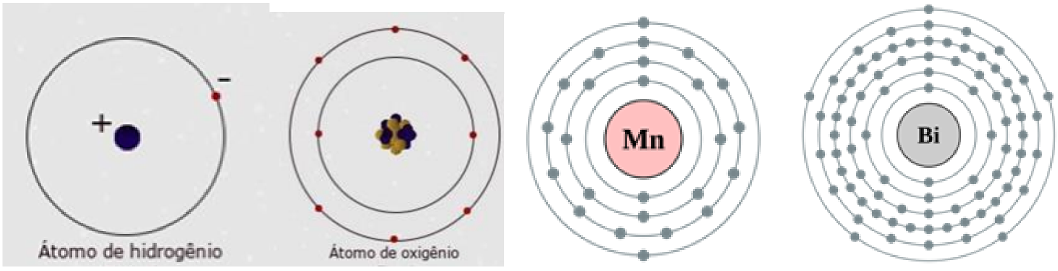
3) O que é um átomo?

Um átomo é o nome dado ao formador da matéria. Elementos químicos, moléculas, substâncias e materiais orgânicos ou inorgânicos são formados por átomos. Em sua constituição, o átomo apresenta partículas (prótons, nêutrons e elétrons), não sendo a menor parte da matéria.

O átomo possui duas regiões, o núcleo e a eletrosfera. O núcleo atômico, que está no centro do átomo, contém partículas carregadas positivamente chamadas prótons e partículas neutras, chamadas nêutrons. A eletrosfera se constitui numa região muito maior, localizada ao redor do núcleo. Na eletrosfera estão localizados os elétrons**,** partículas carregadas negativamente. O número de elétrons é igual ao de prótons, de modo que o átomo é eletricamente neutro. A maioria dos átomos contém prótons, elétrons e nêutrons. O hidrogênio (H) é uma exceção porque tem um próton e um elétron, mas não tem nêutrons.

Abaixo podemos analisar, nas Figuras 2, representações de átomos de alguns elementos químicos, nelas podemos observar a estrutura do átomo, de acordo com os conceitos trabalhados anteriormente!

Figura 2 – Representações dos átomos a) do hidrogênio, b) do oxigênio, c) do magnésio e d) do Bismuto.



Fonte: a) Mjmauler, 2021, adaptada. b) Mjmauler, 2021, adaptada. c) Electron_shell_025_Manganese.svg : Pumbaa (trabalho original de Greg Robson). d) Electron_shell_083_Bismuth.svg: Pumbaa (trabalho original de Greg Robson)

4) O que é o número atômico?

5) O que é o número de massa?

O número de massa é a soma dos prótons e dos nêutrons que existem no núcleo do átomo. Podemos estabelecer a seguinte relação:

$$A = n + p,$$

sendo, A o número de massa, na quantidade de nêutrons e p a quantidade de prótons ou elétrons (e) (que é igual ao número atômico (Z) que também está na classificação periódica dos elementos químicos).

Logo:

$p = Z$

$p = e$

$$A = n + Z.$$

Na classificação periódica dos elementos químicos temos o valor da <u>massa atômica</u>; arredondando esse valor obtemos o <u>número de massa</u>!

Obs.: Lembrando que a massa atômica é medida em unidade de massa, símbolo “u”, que equivale à massa de um nêutron ou um próton.

Exemplo 1:

Para o elemento químico fósforo a massa atômica é 30,974 u, então arredondando esse valor temos, número de massa do fósforo é igual a 31, como o seu número atômico é 15 temos que;

$A = n + Z$

$31 = n + 15$

$n = 31 – 15$

$n = 16$, esse é o número de nêutrons do fósforo, 15 é o número atômico, número de prótons e também número de elétrons!

Como podemos calcular a massa do átomo de fósforo?

Pensando nos elementos que constituem o átomo como podemos obtê-la?

Como são conhecidas as massas dos prótons, elétrons e nêutrons, e sabendo a quantidade de cada um deles no átomo em questão, podemos calcular a massa do átomo a partir da massa dos elementos que o constituem.

Consultando a classificação periódica, que está exposta no quadro da sala, respondam quantos elétrons, prótons e nêutrons possui o fósforo!

Para o átomo de fósforo (P), temos:

Massa atômica ≅ 31

A = 31

Z = p = e = 15

n = 16

15 elétrons, 15 prótons e 16 nêutrons.

Massa do elétron ≅ $9{,}11\ x\ 10^{-31}$ kg

Massa do próton ≅ $1{,}673\ x\ 10^{-27}$ kg

Massa do nêutron ≅ $1{,}675\ x\ 10^{-27}$ kg

Logo, massa do átomo de fósforo:

$$m = 15\ x\ 9{,}11\ x\ 10^{-31}\ kg + 15\ x\ 1{,}673\ x\ 10^{-27}\ kg + 16\ x\ 1{,}675\ x\ 10^{-27} kg$$

$$m = 1{,}36\ x\ 10^{-29}\ kg + 2{,}5\ x\ 10^{-26}\ kg + 2{,}68\ x\ 10^{-26}\ kg$$

$$m = 5{,}18\ x\ 10^{-26}\ kg$$

Ao Professor:

Aqui podemos relacionar as ideias mencionadas com a classificação periódica dos elementos químicos. O professor pode solicitar a dois estudantes voluntários, que se dirijam ao quadro, para que cada um mostre uma informação na classificação periódica dos elementos químicos. Um estudante mostra o número atômico e o outro mostra o valor da massa atômica de um elemento químico determinado pelo professor!

Exercício

Agora que já conversamos sobre átomos é importante que consigam fazer uma visualização deles através de algum tipo de representação gráfica.

Então, o professor distribuirá o nome de um elemento químico para cada trio. Os estudantes podem utilizar 15 minutos para conversarem e pesquisarem na classificação periódica dos elementos químicos as informações necessárias para que realizem no quadro uma representação gráfica do átomo do elemento químico determinado para cada trio, com a quantidade de prótons, elétrons e nêutrons!

Tópico 2

Objetivo geral:
- Fixar a ideia de que um átomo isolado ocupa um volume esférico.

Objetivos específicos:
- Proporcionar a interação entre os estudantes.
- Calcular área superficial e volume da esfera.
- Calcular massa específica de átomo.
- Estimular o raciocínio lógico e a resolução de problemas.

Visualização de Átomos

Podemos agora, assistir dois pequenos vídeos onde observaremos imagens de átomos captadas por um microscópio de tunelamento por varredura.

Ao Professor:

Podem ser projetados no quadro da sala os vídeos que estão disponíveis nos seguintes endereços eletrônicos:

https://youtu.be/uIk9ouHrCwM ou

https://www.youtube.com/watch?v=jijlSF5btXE

e

https://youtu.be/N_0SP4sXTrE

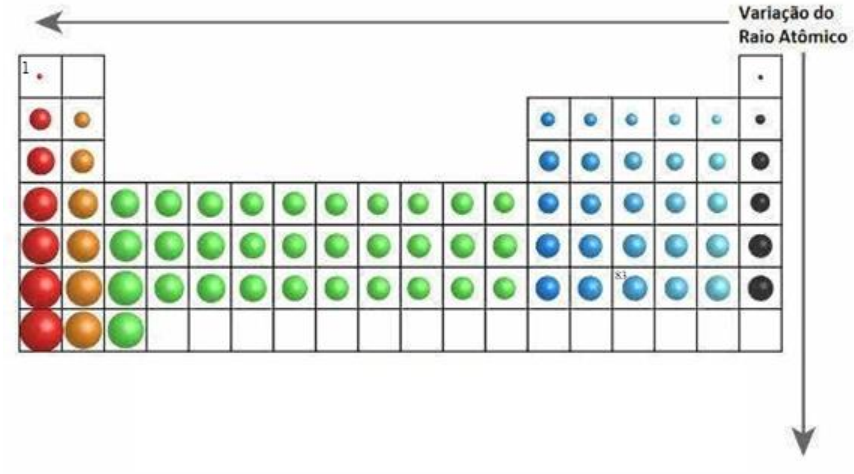
O microscópio utilizado foi desenvolvido em 1981 pela IBM, uma invenção que valeu o Prêmio Nobel de Física aos criadores em 1986. O microscópio tem uma massa de duas toneladas, funciona a uma temperatura de -268°C e amplia a superfície atômica mais de 100 milhões de vezes.

Raio do átomo

Outra característica bem importante é a diferença de tamanho entre os átomos. Podemos perceber, na classificação periódica dos elementos químicos, que o raio dos átomos cresce da direita para a esquerda e nos grupos (na vertical) o raio aumenta de cima para baixo!

Na Figura 3 podemos observar a organização na classificação periódica, quanto à diferença entre os raios dos átomos.

Figura 3 – Classificação periódica mostrando a variação do raio atômico.



Fonte: Toda Matéria, 2019. Adaptada. Disponível em: https://www.todamateria.com.br/raio-atomico.

Podemos observar o átomo de hidrogênio (Z = 1) na primeira linha à esquerda com diâmetro bem menor que o diâmetro do átomo de bismuto (Z = 83) na penúltima linha, mais à direita.

Observe, na Figura 4, os valores tabelados para o raio dos átomos.

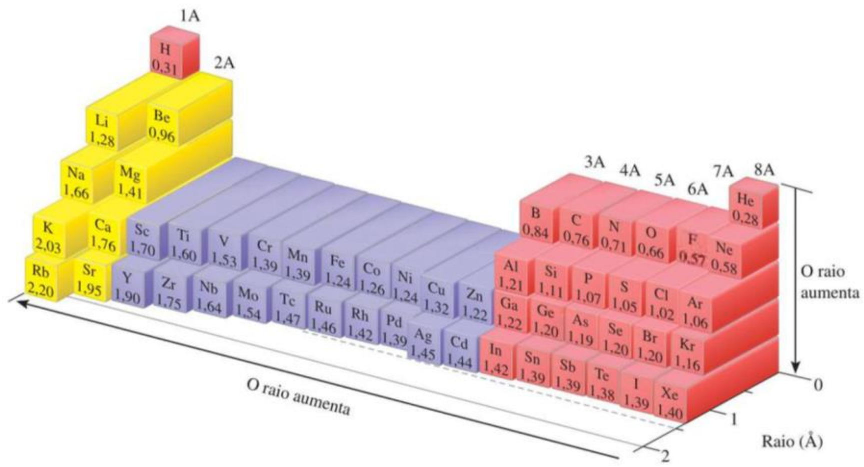
Ao Professor:

Esta tabela deve ser disponibilizada aos estudantes, para que possam consultá-la durante a aula, também pode ficar disponível no mural da turma na sala de aula e na plataforma Google Sala de Aula.

Obs.: A Figura 4 mostra os valores dos raios atômicos dados em Å (angstroms). 1 Å equivale a $1\ x\ 10^{-10}\ m$.

Então, pelo que vimos até aqui, podemos perceber que o átomo ocupa um volume esférico. Portanto, uma vez que conhecemos o seu raio, podemos calcular o volume ocupado por um único átomo e também a área de sua superfície.

Figura 4 – Tendência dos raios dos átomos.



Fonte: Brown, T. L., Lemay, H. E. Bursten, B. E., Murphy, C., 2016. Adaptada.

Lembrando que:

Área da esfera: $A = \pi r^2$

Volume da esfera: $V = \frac{4\pi r^3}{3}$

Å (angstrom) equivale a $1\ x\ 10^{-10}\ m$

$\pi \cong 3{,}14$

Sendo que, nas equações citadas, A representa a área, r representa o raio e V representa o volume.

Exemplo 2: Cálculo de área e volume do átomo de oxigênio.

Para o átomo de oxigênio (O), temos qual valor para o raio?

Pedir que os estudantes consultem a Figura 4 que contém o raio dos átomos.

$$r = 0{,}66\ \text{Å}$$
$$r = 0{,}66\ x 10^{-10}\ m$$

Área do átomo de oxigênio:

$$A = \pi r^2$$
$$A \cong 3{,}14\ x\ (0{,}66\ x 10^{-10}\ m)^2$$
$$A \cong 1{,}36\ x\ 10^{-20}\ m^2$$

Volume do átomo de oxigênio:

$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$
$$V \cong \frac{4\ x\ 3{,}14\ x\ (0{,}66\ x\ 10^{-10}\ m)^3}{3}$$
$$V \cong \frac{3{,}6\ x\ 10^{-30}\ m^3}{3}$$
$$V \cong 1{,}2\ x\ 10^{-30}\ m^3$$

Exercício

Continuaremos trabalhando em grupos.

Cada estudante escolhe um elemento. Com o valor do raio, calcule a área e o volume do átomo escolhido. Os elementos ferro e alumínio precisam estar entre os escolhidos.

Obs.: Após todos os cálculos serem concluídos, compartilhe com os colegas de grupo para conferência entre o trio, anotem os valores calculados. Posteriormente, vamos utilizar alguns desses dados.

Ao Professor:

Os estudantes devem desenvolver os cálculos em seus cadernos e o professor pode verificar todos os cálculos e respostas.

Os elementos ferro e alumínio foram solicitados, pois, utilizaremos estes resultados em atividades posteriores.

Massa Específica (μ)

Para a última etapa dos nossos exercícios, precisamos saber se vocês lembram o que é massa específica.

Ao Professor:

Ouvir todas as respostas, comentar e após, se for necessário, introduzir a definição abaixo, caso as respostas dos estudantes não sejam completas ou suficientes para o entendimento do conceito.

Massa específica é a grandeza que relaciona massa (m) com o volume (V) ocupado por esta massa.

$$\mu = \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{V}}$$

Relacionando com o nosso tema, como podemos calcular a massa específica de um átomo isolado?

Por exemplo, para o átomo de oxigênio?

O volume já calculamos! E para a massa? Também já calculamos em um exemplo.

$m = 2{,}68\, x\, 10^{-26}\, kg$

Aqui, podemos comparar esse valor de massa em relação às massas dos elétrons, prótons e nêutrons.

Utilizando a relação: $m = 2{,}68\, x\, 10^{-26}\, kg$ é 100% da massa do átomo.

Massa dos elétrons = $7{,}28\, x\, 10^{-30}\, kg$

$$2{,}68\, x\, 10^{-26}\, kg \quad - \quad 100\%$$
$$7{,}28\, x\, 10^{-30}\, kg \quad - \quad X$$

$$X \cong 0{,}03\%$$

Massa dos prótons + massa dos nêutrons seria 100% - 0,03% = 99,97%.

Então, podemos perceber que, praticamente toda a massa do átomo está localizada no seu núcleo e que a eletrosfera contém uma mínima parte (0,03%) da massa total do átomo. Mas se relacionarmos estas informações com o volume, podemos perceber que o núcleo do átomo representa 99,97% da massa total do átomo, mas a maior parte do volume ocupado pelo átomo está na eletrosfera.

Pensando ainda na porcentagem de 0,03% da massa da eletrosfera em relação à massa total do átomo, esse valor representa uma parte bem pequena, tanto que podemos fazer a seguinte relação, 0,03% significa 3 em cada 10.000.

Para a sua massa específica temos:

$$\mu = \frac{m}{V}$$

$$\mu = \frac{2{,}68\ x\ 10^{-26}\ kg}{1{,}2x10^{-30}\ m^3}$$

$$\mu = 2{,}23\ x\ 10^4\ kg/m^3$$

Atividade Avaliativa

Todos os cálculos devem ser apresentados!

1 - Cada estudante vai receber a indicação de um elemento químico, vocês precisam consultar a classificação periódica dos elementos químicos, anotar os dados necessários e calcular a massa específica do átomo do elemento indicado.

2 - Com o término do Módulo I, será disponibilizado espaço na plataforma Google Sala de Aula para que os estudantes postem um resumo dos conceitos que foram trabalhados neste Módulo I! Escrevam com suas palavras, não serão avaliados textos copiados da internet.

3 - Com base nas informações trabalhadas em aula, como você explicaria com suas palavras, o que é um átomo e qual a forma que melhor define o espaço ocupado pelo átomo.

Obs.: Não serão avaliadas respostas copiadas da internet, responda com suas palavras.

Atividade Avaliativa

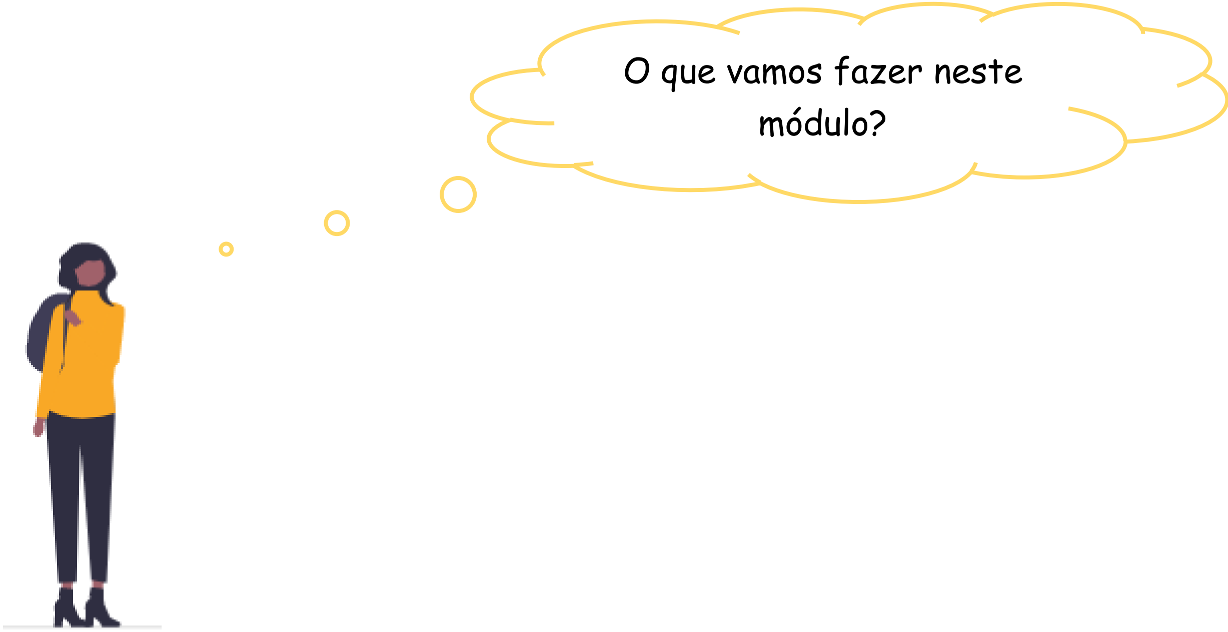
Exercício Extra

Esta atividade pode ser avaliada somente para os estudantes que optarem por realizá-la.

Para ser resolvido em casa e entregue em espaço próprio para este fim na plataforma Google Sala de Aula!

1 - Sabendo que certo átomo tem massa específica igual a $3{,}2\ x\ 10^3\ kg/m^3$ e massa igual a $1{,}42x10^{-25}\ kg$. De que elemento é este átomo?

MÓDULO II



Ao professor:

Discussão do conceito e das propriedades da rede cristalina. Apresentar as possíveis redes cristalinas (Redes de Bravais) para a formação das estruturas cristalinas que existem na natureza e utilizar conceitos da geometria espacial nestas estruturas.

Tópico 3

Objetivo geral:
- Usar os conceitos de tijolos, paredes e blocos para fazer uma analogia às redes de Bravais.

Objetivos específicos:
- Discutir a organização dos átomos nos três estados físicos (sólido, líquido e gasoso) e buscar informações dos estudantes para construir estes argumentos.

- Manusear e visualizar peças do jogo pequeno construtor, material dourado, bolas de gude e pequenos cilindros analisando com quais desses materiais podemos fazer uma analogia às propriedades das redes de Bravais;
- Calcular área superficial e volume de cubo e paralelepípedo;
- Calcular a massa específica dos tijolos, paredes e blocos, montados com as peças do jogo pequeno construtor;
- Proporcionar a interação entre os estudantes;
- Definir as características da rede cristalina.

Introdução à Organização dos Átomos

Como já vimos, toda a matéria conhecida se difere pelos diferentes tipos de átomos que a compõem.

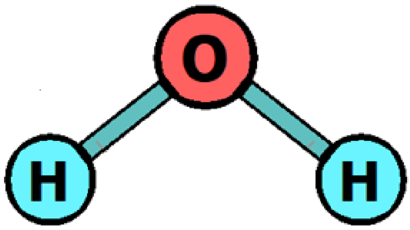
Sabemos que átomos diferentes podem se ligar e formar moléculas ou substâncias diferentes. Como por exemplo?

Ao professor:

Deixar que os estudantes pensem e lembrem de alguns exemplos como, sal (NaCl), água (H_2O), etc.

Nas Figuras 5 e 6 temos exemplos de representações de moléculas da água e do hidrogênio.

Figura 5 – Representação de molécula da água.



Fonte: Lucas Araujo de Lima Dias, 2021.

Figura 6 – Representação da molécula de hidrogênio.

Fonte: Diogo Lopes Dias.

Também a matéria se difere pela organização dos átomos ou moléculas que a compõem.

Vocês já estudaram sobre essa organização na disciplina de química, no ensino fundamental.

Ao professor:

** Lembrar do exemplo disponibilizado na conversa inicial, sobre a organização dos átomos de carbono na formação da grafite, do diamante e do grafeno.*

Questionamento para resolver em trios:

Pretende-se realizar uma conversa inicial, composta por um questionamento, que os estudantes devem responder espontaneamente, sem consulta a material didático ou internet, com objetivo de identificar qual a percepção dos estudantes sobre o assunto da organização dos átomos nos três estados físicos, relembrando conceitos já trabalhados na disciplina de química.

1) Quanto à organização dos átomos, vocês lembram como estão organizados os átomos nos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso?

Ao professor:

Neste momento os estudantes devem registrar as respostas em seus cadernos.

Aqui o professor deve comentar sobre as respostas com os estudantes, incentivando a formação de um debate e após se for necessário introduzir a definição abaixo, caso as respostas dos estudantes não sejam completas ou suficientes para o entendimento do conceito.

No estado sólido as moléculas estão muito próximas, ligadas por forças de interação muito intensas o que as mantém em posições determinadas, definindo assim sua forma e rigidez.

As moléculas nos líquidos apresentam-se mais afastadas do que nos sólidos. Neste caso, a força de interação mais fraca permite que elas se desloquem com certa facilidade. Assim, forças externas, por exemplo, a força gravitacional, podem fazer com que as moléculas troquem de posição, fazendo com que o líquido flua ou se adapte à forma do recipiente que o contém.

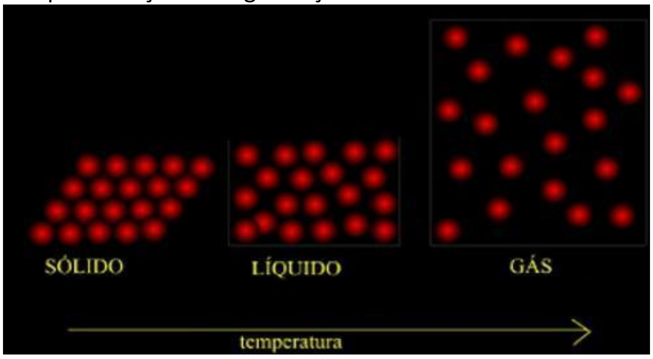
Como podemos observar na Figura 7, nos gases os átomos ou moléculas possuem grandes distâncias entre si, quando comparadas com os líquidos e sólidos.

<u>Lembrando que, nosso enfoque será somente a organização dos átomos ou moléculas no estado sólido!</u>

Vamos falar de uma organização bem específica, trabalharemos com o conceito de sólidos cristalinos!

Nos sólidos cristalinos, os átomos ou moléculas são arranjados de modo análogo a tijolos, como em uma construção. Esse posicionamento dos átomos ou moléculas é proporcionado por uma estrutura que chamamos de rede cristalina.

Figura 7 – Representação da organização dos átomos nos três estados físicos.



Fonte: Autor não identificado. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~leila/fase.htm. Adaptada.

Discussão do conceito do elemento básico (unidade) na formação da rede cristalina

Para entender inicialmente o conceito de rede, vamos discutir como os tijolos são arranjados na construção de paredes.

Para a construção de uma parede, por exemplo, precisamos dispor os tijolos de uma maneira bem organizada, de uma forma ordenada. Se construirmos uma parede contígua à outra (que se toca por um lado), obtemos um bloco.

Quais as formas geométricas que os tijolos poderiam ter para que se consigam formar paredes?

Ao professor:

Listar no quadro todas as respostas dadas, analisar com os estudantes a possibilidade de uso das formas citadas.

Possibilidades de construção de redes cristalinas

Agora em trios, vamos manusear algumas peças e tentar formar as paredes e blocos. Sugestão de objetos que podem ser utilizados: peças do jogo pequeno construtor, jogo antigo de bingo com peças em formas de pequenos cilindros, bolas de gude e material dourado.

Podemos pensar em usar esferas, pirâmides, cubos, paralelepípedos, pequenos cilindros, etc.

Ao professor:

Deixar os estudantes testando e pensando nas possibilidades, para concluírem quais peças não podemos usar para formar os blocos!

Ouvir todas as ideias dos estudantes!

Deixar que utilizem tijolos diferentes no mesmo bloco ou parede. Podemos comparar os blocos formados com bases diferentes. Depois de os estudantes tentarem chegar a algumas possibilidades, define-se o que é preciso. Definir as propriedades da rede cristalina.

O bloco deve ser:

- compacto, sem espaços vazios;

- com todas as peças iguais (todas as peças precisam ser do mesmo tipo).

Conclui-se então que, as formas que podemos utilizar são o cubo e o paralelepípedo.

Utilizando estes pedaços menores, que representam os tijolos, podemos organizá-los em grupos juntando várias unidades, formando assim paredes e com as paredes podemos formar os blocos.

Vamos fazer esse exercício de juntar tijolinhos para formar paredes e com as paredes vamos formar blocos.

Voltando para as atividades em trios!

2) Pensando nos conceitos que trabalhamos anteriormente, como podemos definir esses nossos tijolos?

Ao professor:

Ouvir todas as respostas, comentar e após, se for necessário, introduzir a definição abaixo, caso as respostas dos estudantes não sejam completas ou suficientes para o entendimento do conceito.

Quando formamos paredes ou blocos, esses tijolos utilizados devem:

- ser todos iguais;

- dispostos de forma a não deixar nenhum espaço vazio na parede ou no bloco.

Essas são as características da rede cristalina. A rede cristalina é constituída de unidades idênticas, que quando justapostas formam uma estrutura sem espaços vazios.

Exercícios:

Vamos para os cálculos de área, volume e massa específica dos tijolos, paredes e blocos!

Ao Professor:

Obs.: Aqui vamos dividir os exercícios entre os trios, para que parte dos grupos fique com exercícios com tijolos, outra parte com paredes e parte com blocos para depois podermos comparar as massas específicas, que devem ser aproximadas.

Materiais: Balança, régua, calculadora, lápis, borracha e caderno da disciplina de matemática.

Para a realização desta atividade, deve ser disponibilizada uma balança digital que deve ficar instalada em uma classe localizada na parte da frente da sala, na qual os estudantes devem se dirigir, organizadamente, sempre que for necessário medir a massa de algum tijolo, parede ou bloco.

Ao professor:

** o exercício 3 é para os trios que realizarão os cálculos para os tijolos!*

** o exercício 4 é para os trios que realizarão os cálculos para as paredes!*

** o exercício 5 é para os trios que realizarão os cálculos para os blocos!*

Dicas para a realização desta atividade:

1°) Escolher as peças que serão utilizadas;

2°) Para os trios que precisam formar paredes e blocos recomenda-se que não se utilizem muitas peças. A atividade é indicada para realização de pequenas paredes e pequenos blocos;

3°) Com o uso da régua, registre todas as medidas necessárias para realização dos cálculos (altura, largura e espessura);

4°) Com o uso da balança, verifique a massa do material selecionado para a atividade.

5°) Realize os cálculos de área, volume e massa específica.

3) Calcule a área total da superfície, volume e massa específica dos tijolinhos dos dois tipos que utilizamos (cubo e paralelepípedo de madeira).

Obs.: Após a entrega desta atividade, vamos fazer uma pesquisa rápida. Utilizando o aparelho de telefone, vamos pesquisar na internet o valor tabelado para massa específica da madeira. Podemos comparar o valor encontrado na pesquisa com o valor que foi calculado para massa específica do "tijolo"!

Um exemplo de endereço eletrônico que podem utilizar na pesquisa é o seguinte, https://www.todamateria.com.br/densidade/, onde observamos que a madeira, em média, tem massa específica igual a $0,5g/m^3$, valor que deve ser encontrado nos cálculos.

4) Agora podemos pensar nas paredes que construímos. Monte com os tijolos uma parede, podem escolher a quantidade de tijolos. Calcular o volume, área total e massa específica desta parede.

Aqui podemos comparar o resultado obtido com a massa específica que calculada para o tijolinho, os valores estão bem aproximados!

5) Agora podemos pensar nos blocos que construímos, monte com os tijolinhos um bloco, vocês podem escolher a quantidade de tijolos para utilizarem, calcule o volume, área total e massa específica deste bloco.

Aqui podemos comparar o resultado obtido com a massa específica que calculamos para o tijolinho e para a parede, os valores são aproximadamente iguais!

6) Podemos pensar em tijolinhos de outros materiais.

Ao professor:

Sugerimos a utilização de "tijolinhos maciços" feitos de outros materiais, como por exemplo: borracha, mármore, vidro e aço, podem ser calculadas as massas específicas e depois comparar com os dados tabelados.

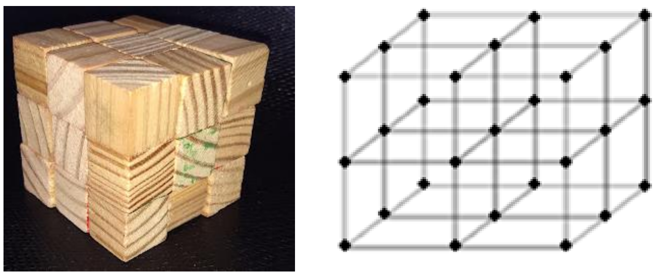
Cada grupo recebe um tijolinho. Após o cálculo socializam-se as respostas, o grupo fornece o valor calculado e todos consultam na internet o valor tabelado.

Retomada de conceitos:

Qual foi a conclusão quanto às características da rede cristalina?

Observando as Figura 8 a e b continuamos com a analogia do bloco feito com tijolos idênticos e justapostos com as redes de Bravais.

Figura 8 (a): Bloco com tijolos de madeira (b) Rede.



Fonte (a): Autoria própria, 2022. (b) Autor: Paula Galvão Caldas, 2011. Adaptada. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=18861@1&msg=28

A rede cristalina é constituída de unidades idênticas, que quando justapostas formam uma estrutura sem espaços vazios.

Ao professor:
Todos os estudantes devem registrar esta conclusão em seus cadernos.

Atividade Avaliativa
Questionário Avaliativo

Agora os estudantes devem receber um questionário impresso para serem respondidas algumas questões sobre o desenvolvimento desta última atividade prática, o questionário é avaliativo e deve ser recolhido pelo professor para posterior análise das respostas!

Quanto ao desenvolvimento da atividade prática que acabamos de realizar:
1) O que você aprendeu de diferente?
2) O que você mais gostou?
3) Defina conceitualmente os temas trabalhados na atividade prática.

Tópico 4

Objetivo Geral:
- Apresentar aos estudantes as quatorze redes de Bravais.

Objetivos específicos:
- Visualizar, manusear e medir as maquetes das quatorze redes de Bravais feitas pelo professor!
- Construir maquetes das redes de Bravais.
- Proporcionar a interação entre os estudantes.

Unidades Básicas
Redes Cristalinas de Bravais

Seguindo as ideias do que trabalhamos no último módulo, onde utilizamos alguns tipos de peças para formar paredes e com as paredes formamos blocos, agora vamos conhecer as "peças", ou unidades básicas, usadas pela natureza na formação dos sólidos cristalinos. Existem 14 tipos dessas unidades básicas, que são chamadas de redes de Bravais.

Antes de conhecermos as Redes de Bravais vamos definir os ângulos e arestas presentes na maioria das delas.

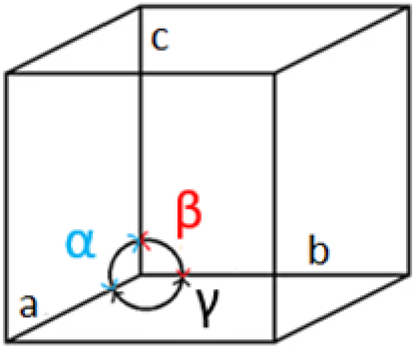
Considere a Figura 9, que mostra um cubo. As arestas entre a base e as faces laterais são denominadas a e b, a aresta entre as faces laterais é denominada c. O ângulo

α é formado pelas arestas a e c, o ângulo β é formado pelas arestas b e c, o ângulo γ é formado pelas arestas a e b que são as arestas da base.

As 14 Redes de Bravais

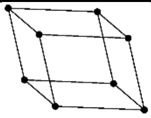
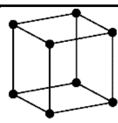
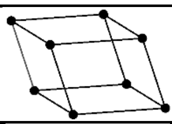
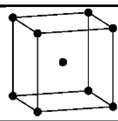
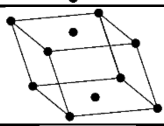
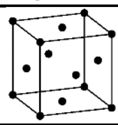
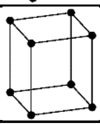
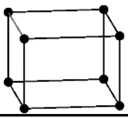
As 14 Redes de Bravais são apresentadas no Quadro 1. Os pontos presentes nas figuras são as posições que serão ocupadas por átomos ou moléculas na formação dos cristais. As medidas das arestas são a_1, a_2 e a_3 e os ângulos são α, β e γ, se considerarmos estes seis parâmetros, os comprimentos das três arestas e os três ângulos entre as arestas, podemos observar que existem sete combinações diferentes, cada uma das quais representa um sistema cristalino distinto.

Figura 9 – Representação de cubo com denominação de arestas e ângulos formados entre as arestas, modelo que deve ser utilizado para as figuras do Quadro 1.

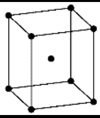
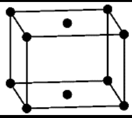
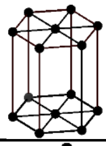
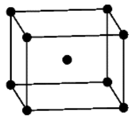
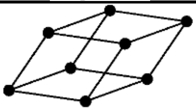
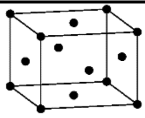


Fonte: Autoria própria, 2021.

Quadro 1[3] - Caracterização das quatorze redes de Bravais agrupadas em sete sistemas cristalinos. Os ângulos e arestas mencionados devem ser identificados de acordo com a Figura 9.

Sistema	Tipo de Rede	Representação	Sistema	Tipo de Rede	Representação
Triclínico a≠b≠c, α≠β≠γ≠90°			Cúbico a=b=c, α=β=γ=90°	Simples	
Monoclínico a≠b≠c, α=γ=90° e β≠90°	Simples			Centrada	
	Base Centrada			Face Centrada	
Tetragonal a=b≠c,	Simples		Ortorrômbico	Simples	

[3] As figuras das representações das redes estão disponíveis em: https://www.geogebra.org/m/v5xezvga

α=β=γ=90°	Centrada		a≠b≠c, α=β=γ=90°	Base Centrada	
Hexagonal a=b≠c, α=β=90° e γ=120°				Centrada	
Trigonal a=b=c, α=β=γ≠90°				Face Centrada	

Fonte: Autoria própria, 2022.

Atividade Prática

1ª Etapa:

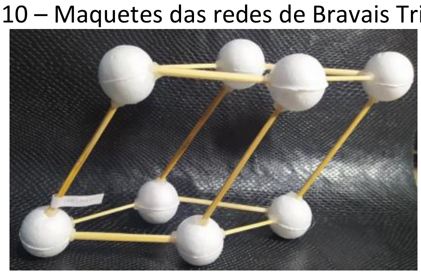
Agora podem visualizar, manusear e medir as construções das 14 redes que devem ter sido feitas pelo professor!

Em trios, utilizem as réguas (régua e transferidor) para conferir as medidas das arestas das redes e ângulos de cada uma das 14 redes de Bravais. As arestas das redes são chamadas de parâmetro de rede.

Ao professor:

Neste momento, o professor deve apresentar aos estudantes as maquetes das 14 Redes de Bravais, que podem ser feitas com palitos de churrasquinho, palitos de dente, linha de nylon, bolas de isopor e cola quente. As Figuras 10 até 16 mostram alguns exemplos das maquetes.

Figura 10 – Maquetes das redes de Bravais Triclínica.

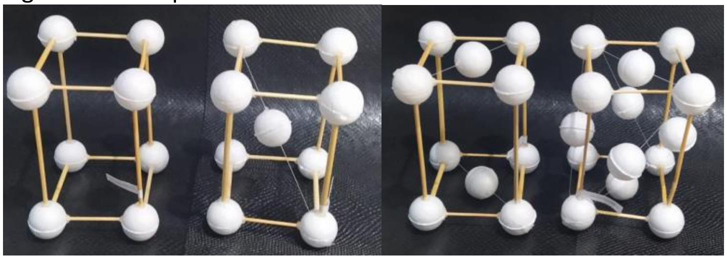


Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 11 – Maquetes – redes de Bravais do sistema monoclínico.

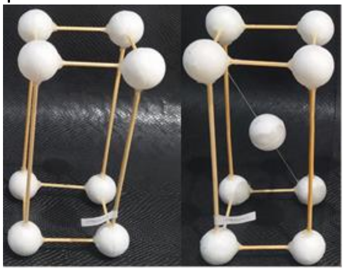
Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 12 – Maquetes – redes de Bravais do sistema ortorrômbico.



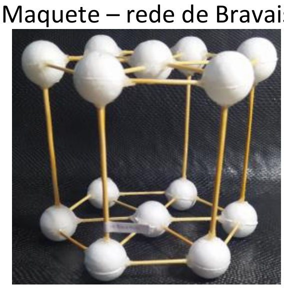
Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 13 – Maquetes– rede de Bravais do sistema tetragonal.



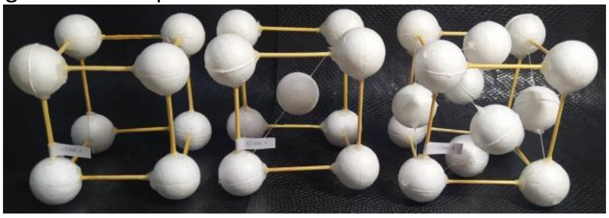
Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 14 – Maquete – rede de Bravais hexagonal.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 15 – Maquetes – rede de Bravais do sistema cúbico.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 16 – Maquete – rede de Bravais Trigonal.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Podemos observar que, para a construção, todas as características de cada sistema foram obedecidas!

2ª Etapa:

Atividade Avaliativa 4

Agora que já conhecemos as características das 14 redes de Bravais podemos realizar a construção de algumas delas em aula!!!

Cada trio precisa:

1°) Construir duas redes, sendo uma do sistema cúbico e outra do sistema ortorrômbico, podem escolher, mas não podem ser escolhidas as duas redes simples.

2°) Registrem no caderno os dados suas redes: diagonal da face, diagonal da rede e parâmetros de rede;

Obs.: Para a diagonal, facilita a medida se for utilizado um barbante.

3°) Pesquise pelo menos um exemplo de material que cristaliza no tipo de sistema que o trio construiu.

Materiais que podem ser utilizados e que deveriam ser trazidos pelos estudantes:

- Palito de madeira (1 pacote de palito de churrasquinho e 1 caixa palitos dentais);
- bolas de isopor (de preferência pequena com diâmetro 10mm, 15mm ou 20mm).

Atividade Avaliativa
Exercícios Extras

Esta atividade será avaliada somente para os estudantes que optarem por realizá-la. Para ser desenvolvida em casa e apresentada em sala de aula!

Atividade Extraclasse Avaliativa

Prazo: 2 dias (socialização no Tópico 6)

Grupo: trios

Material: livre escolha, o grupo pode utilizar qualquer material que achar conveniente.

Descrição: O grupo deve escolher para construir, em casa, pelo menos uma entre as demais redes dos sistemas cristalinos que ainda não construímos em aula, são elas: Triclínico, Monoclínico, Tetragonal, Hexagonal e Trigonal. Pesquise pelo menos um exemplo de material que cristaliza no sistema da rede construída.

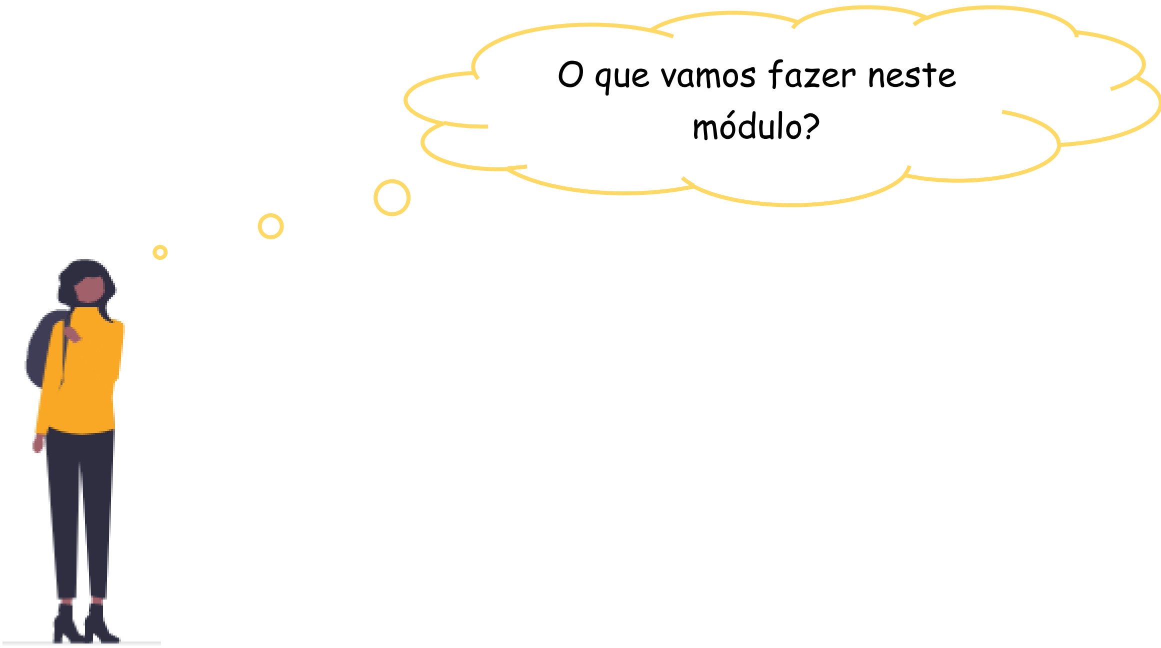
Dinâmica da socialização:

Estamos no Tópico 4, no Tópico 6 os estudantes devem trazer, no mínimo, a rede definida para seu trio, podem construir outras se desejarem.

Cada trio deve preparar uma apresentação para os colegas com a rede construída com seu nome, suas características, relatem os passos da construção, grau de dificuldade e se a atividade foi interessante, podem registrar os principais passos, através de fotos ou vídeo com no máximo 2 minutos. Esses registros podem fazer parte da apresentação que será realizada no Tópico 6.

Como possivelmente teremos mais de um trio montando cada tipo de rede, no Tópico 6 para realizar a apresentação será sorteado no mínimo um trio de cada tipo de rede, caso seja de interesse do trio, os não sorteados podem se voluntariar para apresentar, é só comunicar o professor.

MÓDULO III



Ao professor:

Trabalhar a formação da estrutura cristalina (cristal) a partir do conceito de rede de Bravais + base (átomo ou moléculas). Realizar exercícios com contexto interdisciplinar, utilizando vários temas trabalhados ao longo desta pesquisa.

Tópico 5

Objetivo geral:

- Explorar o conceito de sólidos cristalinos.

Objetivos específicos:

- Aplicar os cálculos de diagonal de cubo e de paralelepípedo em maquetes de redes de Bravais.
- Transformação de rede de Bravais em uma unidade básica de cristal.
- Utilizar os conceitos de operações com frações para contabilizar átomos nas estruturas cristalinas.
- Proporcionar a interação entre os estudantes.
- Buscar informações dos estudantes para construir argumentos sobre a relação entre raio do átomo e a diagonal da unidade básica cúbica do cristal.

Cálculo de diagonais das maquetes de Redes de Bravais

Neste momento da aula vamos utilizar as redes que construímos, lembrando que cada trio já tem prontas duas redes, uma do sistema cúbico e outra do sistema ortorrômbico. Com elas vamos realizar alguns exercícios de cálculo de diagonal da face e diagonal das redes (cubo e paralelogramo).

Exercício:

Cada trio consulta as redes que produziu para calcular a medida das diagonais das faces e a diagonal da rede.

Dados:

Diagonal de um quadrado: $d = L\sqrt{2}$

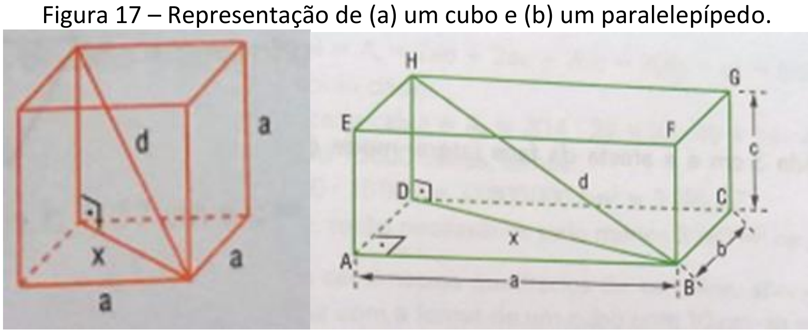
Diagonal de um cubo: $d = a\sqrt{3}$

Diagonal de um retângulo: $d = \sqrt{b^2 + h^2}$

Diagonal de um paralelepípedo: $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$

Abaixo temos as Figuras 17 (a) com um cubo e (b) com um paralelogramo, ambos com as suas arestas e diagonais.

Figura 17 – Representação de (a) um cubo e (b) um paralelepípedo.



(a) (b)

Fonte: Dante, 2004.

Ao professor:

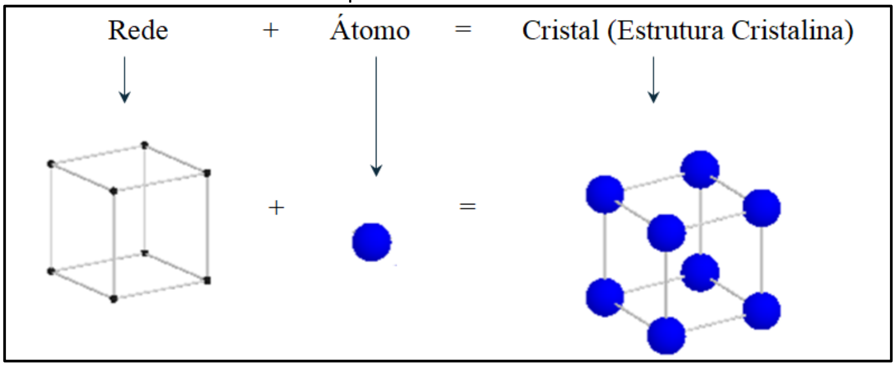
Durante a realização dos exercícios, as Figuras 17 podem ser projetadas no quadro para que os estudantes possam consultar.

Formação de um Cristal

Como já falamos em aulas anteriores, nosso objetivo é trabalhar com os sólidos cristalinos. Agora chegamos ao objetivo principal. Tudo que trabalhamos até agora foi feito para construirmos a ideia de formação do cristal.

Um cristal é formado quando associamos um átomo ou uma molécula (base) a cada ponto de uma rede de Bravais, como representado na Figura 18.

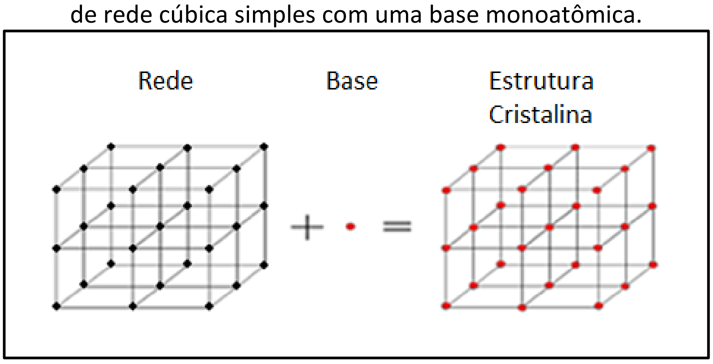
Figura 18 – Exemplo com átomo genérico de uma unidade básica de cristal que cristaliza na forma de rede cúbica simples com uma base monoatômica.



Autoria própria, 2021.

Logo, cristais são arranjos atômicos ou moleculares cuja <u>estrutura cristalina</u> se repete numa forma periódica tridimensional, como exemplificado na Figura 19. <u>Portanto, a estrutura cristalina é a maneira segundo a qual os átomos ou moléculas estão espacialmente arranjados.</u>

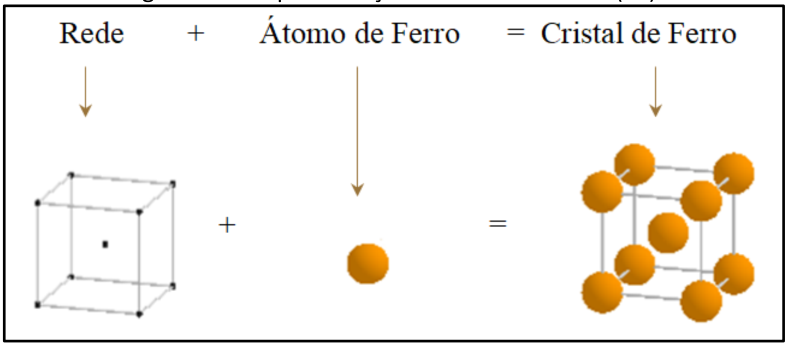
Figura 19 – Exemplo com átomo genérico com mais unidades básicas de cristal que cristaliza na forma de rede cúbica simples com uma base monoatômica.



Fonte: Paula Galvão Caldas, 2011. Adaptada.
Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=18861@1&msg=28

A Figura 20 mostra o exemplo do ferro, que a temperatura ambiente, cristaliza na forma de rede cúbica de corpo centrado com uma base monoatômica.

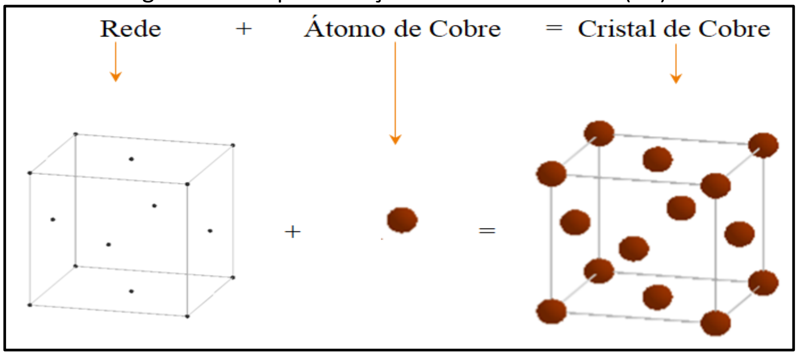
Figura 20 – Representação do cristal de ferro (Fe).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na Figura 21 temos o exemplo do cobre (Cu), que cristaliza na forma de rede cúbica de face centrada com uma base monoatômica.

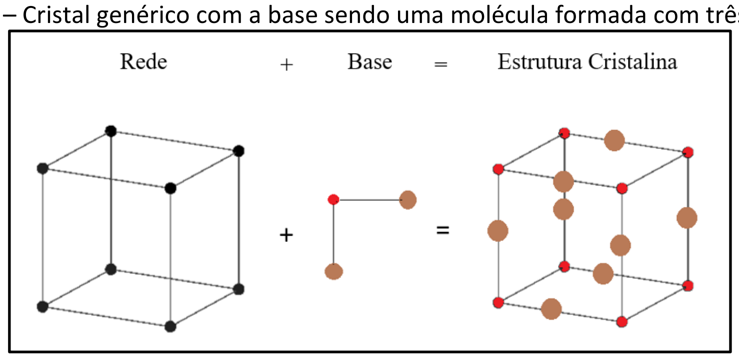
Figura 21 – Representação do cristal de cobre (Cu).



Autoria própria, 2021.

A Figura 22 mostra um cristal hipotético que a base é uma molécula com três átomos que cristaliza em uma rede cúbica simples.

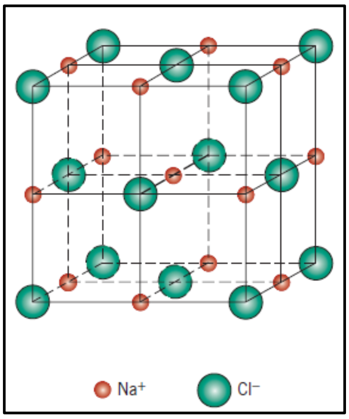
Figura 22 – Cristal genérico com a base sendo uma molécula formada com três átomos.



Autoria própria, 2022.

Podemos ver na Figura 23, outro exemplo. A figura mostra a representação de um cristal de NaCl, que é o sal de cozinha. Na figura, podemos ver que os átomos de sódio de símbolo Na (átomos menores) e o cloro de símbolo Cl (átomos maiores), se associam em duas redes cúbicas de face centrada interpenetrantes.

Figura 23 – Estrutura cristalina do cloreto de sódio, NaCl.



Fonte: Adriano Scheid/UFPR, 2010.
Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME774/

Exercício Prático

Ao professor:

A atividade pode ser realizada em trios!

Materiais necessários para o trio: Tinta, pincel, caneta hidrocor, material para pintura, palitos de dente, bolas de isopor (de preferência pequena com diâmetro 10 mm, 15 mm ou 20 mm) e cola quente.

Montamos algumas redes de Bravais nas aulas anteriores, agora vamos fazer um exercício de montagem da unidade básica de algum cristal, pensando na rede + os átomos ou moléculas. Podemos montar a unidade básica de um cristal no qual a base seja um átomo ou uma molécula com dois ou mais átomos, vamos utilizar as maquetes de redes cúbica e ortorrômbica produzidas na aula anterior. Caso algum trio queira fazer uma representação de algum cristal real, no Quadro 2 temos alguns exemplos de elementos que cristalizam em redes de Bravais cúbicas.

Quadro 2 - Exemplos de elementos que cristalizam em redes de Bravais cúbicas.

Elemento que cristaliza na rede cúbica simples:		
Po- Polônio		
Elementos que cristalizam na rede cúbica de face centrada		
Ar - Argônio	Co - Cobalto	Pd - Paládio
Ag - Prata	Cu - Cobre	Pt - Platina
Al - Alumínio	Ir - Irídio	Pu - Plutônio
Au - Ouro	Ne - Neônio	Sr - Estrôncio
Ca - Cálcio	Ni - Níquel	Xe - Xenônio
Ce - Cério	Pb - Chumbo	

Elementos que cristalizam na rede cúbica de corpo centrado		
Ba - Bário	K - Potássio	Nb - Nióbio
Cr - Cromo	Li - Lítio	Rb - Rubídio
Cs - Césio	Na - Sódio	W - Tungstênio
Fe - Ferro		

Fonte: Ashcroft, 2011.

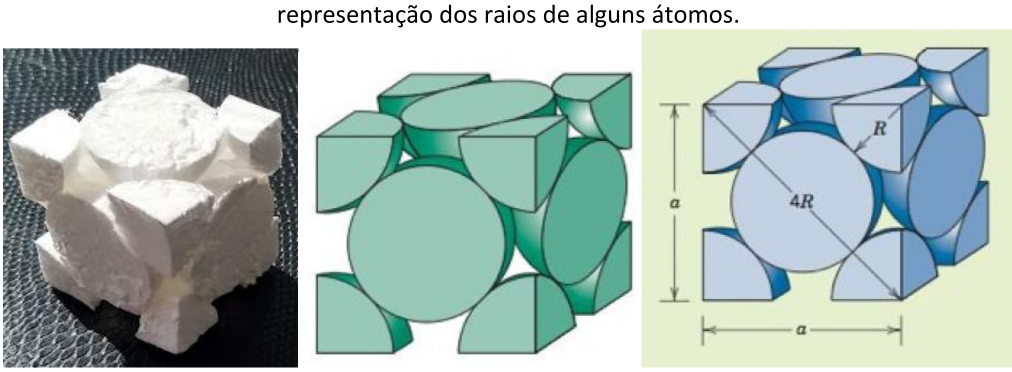
Relação da Diagonal da Face do Cubo com o Raio do Átomo

Rede Cúbica de Face Centrada

Supondo que os átomos que formam o cristal representado na Figura 24, com uma rede CFC e base monoatômica, ocupem o volume que está representado na imagem.

Vamos analisar a imagem mostrada na Figura 24.

Figura 24 – a) Maquete e b) figura representando uma rede CFC com base monoatômica; c) representação dos raios de alguns átomos.



Fonte: a) Autoria própria, 2021, b) e c) Callister; Rethwisch, 2016.

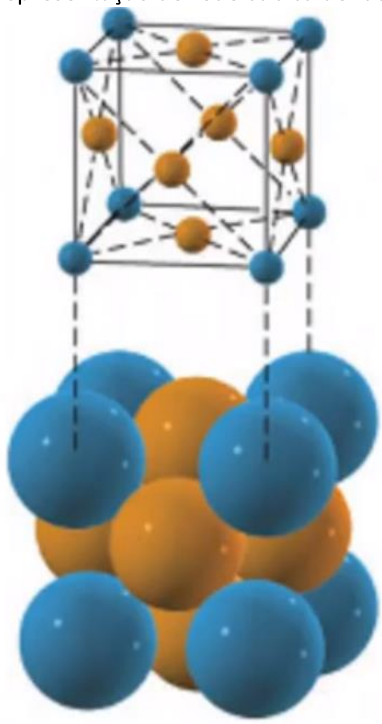
Ao professor:

É necessária a construção da maquete mostrada na Figura 24.

Podemos também analisar e manipular a maquete mostrada na Figura 24 (a). Analisando esta representação de cristal (Figura 24) podemos pensar na relação da diagonal da face com a aresta deste cubo, que é chamada de <u>parâmetro de rede</u> e é representada pela letra a minúscula (<u>a</u>)!

Observando a Figura 24 c) e 25, vamos começar pensando na diagonal da face, qual relação podemos fazer com o raio do átomo?

Figura 25 - Representação de rede cúbica de face centrada.



Fonte: YouTube. Adaptada.
Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=HjY9UA4UrbA&ab_channel=AlEmShEzArsalazar

Ao professor:

Aguardar e auxiliar até que os estudantes consigam analisar a imagem e perceber que a diagonal da face neste tipo de rede é igual a 4R.

Conseguem perceber que a aresta do cubo pode ser descrita matematicamente em função do raio do átomo? Como?

A pouco, utilizamos em nossos cálculos a equação da diagonal da face do cubo, então podemos utilizá-la aqui neste caso em que a rede em questão pertence ao sistema cúbico!

Diagonal da face = $L\sqrt{2}$, neste caso o lado L vale a;

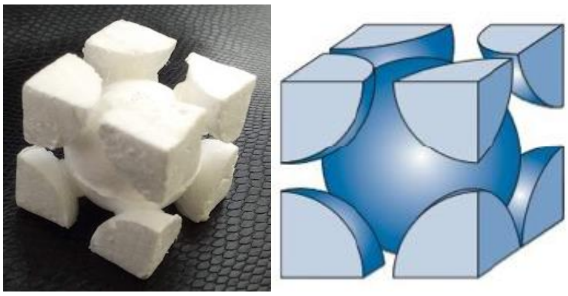
Analisando a imagem, podemos perceber que neste tipo de rede, cúbica de face centrada, a diagonal da face da rede é igual a $4R$, substituindo em d = a$\sqrt{2}$, logo 4R = a$\sqrt{2}$, então $a = 2R\sqrt{2}$, assim podemos relacionar o parâmetro de rede (a) com o raio do átomo que constitui o cristal.

Sendo que, L e a representam a medida do lado da rede (aresta) e R a medida do raio do átomo.

Rede Cúbica Centrada (CC)

Supondo que os átomos que formam o cristal abaixo ocupem o volume que está representado na imagem. Vamos analisar a imagem mostrada na Figura 26 (a).

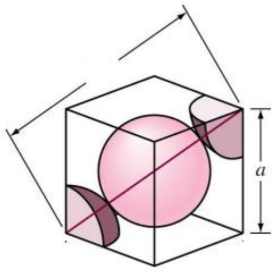
Figura 26 – a) Maquete e b) figura de uma rede CC com base monoatômica.



Fonte: a) Autoria própria, 2022 e b) Callister; Rethwisch, 2016.

Observando a Figura 27, vamos começar pensando na diagonal da do cubo, qual relação podemos fazer com o raio do átomo?

Figura 27 – Representação de átomos dentro de uma unidade de rede de corpo centrado.

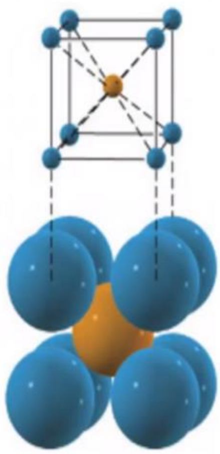


Fonte: Maria Ismenia Sodero. Adaptado.
Disponível em:
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1815583/mod_resource/content/0/Estrutura%20dos%20solidos%20cristalinos.pdf

Ao professor:
É necessária a construção da maquete mostrada na Figura 26 (a).

Podemos também analisar e manipular a maquete mostrada na Figura 26 (a). Analisando esta representação de cristal (Figura 26 (a) e (b), 27 e 28) podemos pensar na relação da diagonal do cubo com o raio do átomo e a aresta deste cubo.

Figura 28 – Representação de redes cúbicas de corpo centrado.



Fonte: YouTube, 2022. Adaptada. Disponível em:
https://www.youtube.com/watch?v=HjY9UA4UrbA&ab_channel=AlEmShEzArsalazar

Ao professor:

Aguardar e auxiliar até que os estudantes consigam analisar a imagem e perceber que a diagonal da face neste tipo de rede é igual a 4R.

Conseguem perceber que a diagonal do cubo pode ser descrita matematicamente em função do raio do átomo? Como?

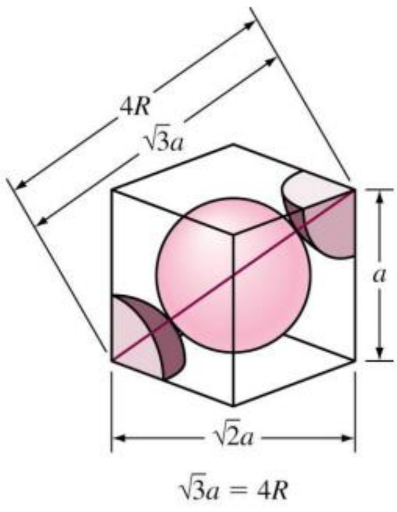
A pouco, utilizamos em nossos cálculos a equação da diagonal do cubo, então podemos utilizá-la aqui neste caso em que a rede em questão pertence ao sistema cúbico!

Diagonal do cubo = $L\sqrt{3}$, neste caso o lado L vale a;

Analisando a imagem, podemos perceber que neste tipo de rede, cúbica de corpo centrado, a diagonal da rede é igual a $4R$, substituindo em d = a$\sqrt{3}$, logo 4R = a$\sqrt{3}$, assim podemos relacionar o parâmetro de rede (a) com o raio do átomo que constitui o cristal (Figura 29).

Sendo que, L e a representam a medida do lado da rede (aresta) e R a medida do raio do átomo.

Figura 29 – Representação de átomos contidos em uma unidade de rede de corpo centrado.



Fonte: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1815583/mod_resource/40ontente/0/Estrutura%20dos%20solidos%20cristalinos.pdf

Exercício

Utilizando a equação que relaciona o raio do átomo com a aresta do cubo, vamos resolver um exercício individualmente:

1) Sabendo que o ouro e a platina são metais que cristalizam em uma estrutura monoatômica com rede cúbica de face centrada, com raios atômicos

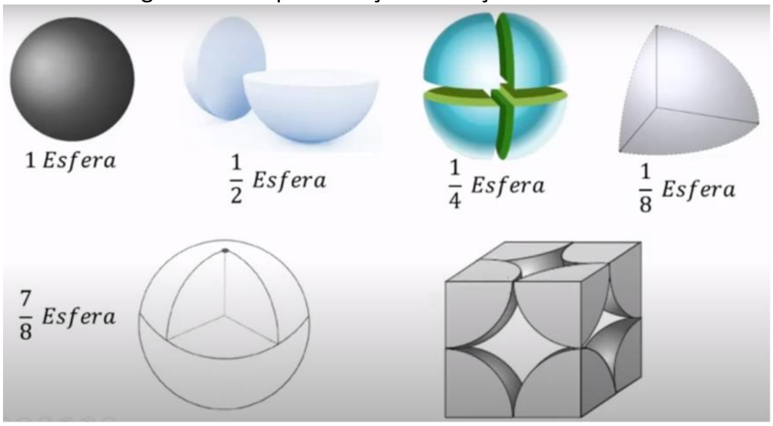
respectivamente iguais a 0,144 nm e 0,139 nm. Calcule o volume de uma unidade básica do cristal de cada elemento, em metros cúbicos.

Para auxiliar na resolução do exercício, podem visualizar e manusear as estruturas das maquetes utilizadas anteriormente!

Quantidade de átomo dentro da unidade básica da rede cúbica

Primeiro vamos observar algumas frações de esfera, representadas na Figura 30.

Figura 30 – Representação de frações de esferas.



Fonte: Diego Alves de Miranda, 2021. Disponível em: https://youtu.be/fUyiu3Zru2w

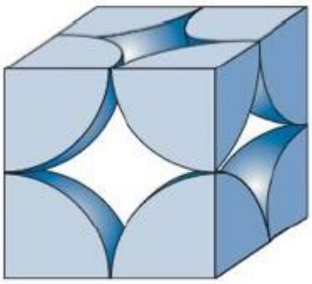
Na figura acima podemos perceber que há uma sequência de divisões nas esferas.

Com a Figura 24 (b) e as maquetes das Figuras 24 (a) e 26 (a) podemos analisar a quantidade de átomos dentro de cada cubo, no caso do sistema cristalino cúbico.

1°) Rede cúbica simples:

Na Figura 31 temos uma representação de uma rede cúbica simples com uma base monoatômica e neste caso podemos observar que em cada vértice temos $\frac{1}{8}$ de átomo, como um cubo possui 8 vértices, $8\ x\ \frac{1}{8} = \frac{8}{8} = 1$ átomo, concluímos que há um e somente 1 átomo inteiro dentro desta rede!

Figura 31 – Representação dos átomos em uma rede cúbica simples.



Fonte: Callister; Rethwisch, 2016.

Atividade

Ao professor:

A atividade pode ser realizada em trio, cada grupo deve discutir sobre a definição, fazer o registro e socializar as respostas. A professora deverá recolher os registros que devem ser feitos com caneta.

Para encerrar a aula vamos pensar no principal conceito trabalhado hoje!

Agora, em trios, vamos responder a um questionamento sobre cristal, o objetivo é que vocês se apropriem desse conceito importante para nossos estudos!

1)Explique, com suas palavras, o que é cristal?

Ao professor:

Ouvir todas as respostas dos grupos, comentar e após se for necessário introduzir a definição abaixo, caso as respostas dos estudantes não sejam completas ou suficientes para o entendimento do conceito.

Cristais são arranjos atômicos ou moleculares cuja estrutura se repete numa forma periódica tridimensional.

Tópico 6

Objetivo geral:

- Estimular a criatividade e a autonomia na resolução de problemas e na construção de estruturas geométricas espaciais.

Objetivos específicos:

- Compartilhar os passos para a construção de redes de Bravais através de uma apresentação feita aos colegas.
- Calcular a quantidade de átomos por unidade básica de rede.
- Resolver exercícios que envolvem a maioria dos conteúdos trabalhados neste projeto e que necessitam de criatividade.

Apresentação da Atividade Extra Avaliativa

Conforme definimos no Tópico 4, agora faremos os sorteios para sabermos qual trio apresenta cada tipo de rede!

Lembrando que esta atividade é optativa!

Ao professor:

Lembrando que os estudantes deveriam trazer no mínimo a rede definida para seu trio, podiam construir outras se desejassem.

Cada trio poderia ter preparado uma apresentação para os colegas com a rede construída, informando seu nome e suas características, também devem relatar os passos da construção, grau de dificuldade e se a atividade foi interessante, durante a construção poderiam ser registrados os principais passos, através de fotos ou vídeo com no máximo 2 minutos, esses registros podem fazer parte da apresentação.

A turma pode ter acesso aos vídeos de todos os trios se estes forem disponibilizados na plataforma Google Sala de Aula.

Exercícios Avaliativos

Ao professor:

A resolução pode ser feita em trios, mas a entrega dos cálculos deve *ser individual.*

Para facilitar a resolução dos exercícios, os estudantes podem consultar e manusear as maquetes de redes de Bravais que foram construídas em aula. Também podem devem estar projetadas no quadro as figuras das redes cúbicas com os átomos dentro da unidade básica.

1) Considerando as estruturas cristalinas monoatômicas cúbica de corpo centrado, cúbica de face centrada, tetragonal e ortorrômbica de base centrada. Quantos átomos estão contidos em cada um dos quatro tipos de redes de Bravais que foram citadas?

a) Cúbica de corpo centrado:
b) Cúbica de face centrada:
c) Tetragonal:
d) Ortorrômbica de base centrada:

2) Sabendo que o alumínio cristaliza em uma estrutura monoatômica com rede cúbica de face centrada e que o parâmetro de rede do cristal de alumínio vale 0,405nm, calcule:

a) o raio do átomo;
b) a massa específica do alumínio (cristal).
Obs.: Para a massa do átomo utilizem os dados já calculados no tópico 2!

3) O ferro, na temperatura ambiente, cristaliza em uma estrutura monoatômica com rede cúbica de corpo centrado. De acordo com a Figura 2.3 utilize para o raio atômico $0{,}124\ nm$, calcule:

a) o valor do parâmetro de rede “a” em nanômetros;
b) volume de uma unidade básica do cristal de ferro;
c) a massa específica do ferro (cristal);
A alternativa de letra d é extra, ganha ponto quem resolver corretamente.
d) volume ocupado pelos átomos dentro de uma unidade básica do cristal de ferro.

Obs.:

* Para a massa do átomo, utilize os dados já calculados na aula 2, lembrando que precisamos analisar a quantidade de átomos que estão dentro da unidade básica da rede!

* Deixar anotado também no caderno o resultado encontrado no exercício 3 letra c, vamos precisar deste resultado para fazer uma comparação, depois que toda a turma concluir a atividade!

Ao professor:

Desafio – Ponto Extra

Este exercício 4 pode ser avaliado com ponto extra somente para os estudantes que optarem por realizá-lo.

4) Suponha que você seja um cientista e que, com seus instrumentos tecnológicos para pesquisa, você consiga criar, em laboratório, um mineral que cristaliza em uma estrutura <u>monoatômica</u> com rede <u>monoclínica simples</u>. Use sua imaginação, dê um nome ao mineral, defina qual elemento químico está presente em sua estrutura e quais são as medidas das arestas e o ângulo β de inclinação de seu cristal. Faça uma representação gráfica (desenhe) o cristal e indique, na imagem, as medidas adotadas. De acordo com as medidas adotadas, calcule o volume da unidade básica da estrutura cristalina e a massa específica deste mineral.

Nome do mineral:

Base (elemento químico):

Parâmetros de rede: a =____ Å, b =____ Å, c = ____ Å.

Ângulos: $\alpha = \_\_^\circ$, $\beta = \_\_^\circ$ e $\gamma = \_\_^\circ$.

Desenho:

Volume:

Massa específica:

Obs.: Após a entrega desta atividade, vamos fazer uma pesquisa rápida. Utilizando o aparelho de telefone, vamos pesquisar na internet o valor tabelado para massa específica do ferro. Podemos comparar o valor encontrado na pesquisa com o valor que foi calculado para massa específica do ferro, no exercício 2 letra c, onde observamos que o ferro tem massa específica igual a 7,87 g/m^3, valor que deve ter sido bem aproximado ao valor calculado no exercício 2 em aula.

Questionário de Encerramento da UEPS

Agora que a UEPS está se encerrando, podemos construir um mapa conceitual que relacione os temas e conceitos trabalhos. Realize uma autoavaliação em relação às atividades desenvolvidas neste projeto (avalie seu interesse, desempenho, participação etc.).

BIBLIOGRAFIA

ASHCROFT, Neil; NERMIN N. David. **Física do estado sólido.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. & HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BROWN, Theodore; LEMAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E. **Química**: a ciência central. 13 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

CALLISTER JR. W.D.; RETHWISCH, D.G. **Ciência e Engenharia de Materiais:** uma Introdução. 9 a Ed., Rio de Janeiro, RJ: LTC Editora, 2016.

DANTE, Luiz Roberto. **Matemática**. 1 ed., São Paulo: Ática, 2004.

EISBERG, Robert Martin. **Fundamentos da Física Moderna.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf. Acesso em: 11 jun. 2023.

PUREUR, Paulo. **Estado Sólido**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2001, 229p.

APÊNDICE A - RESOLUÇÃO DE ALGUNS EXERCÍCIOS PROPOSTOS NA UEPS

Tópico 1

1) Do que vocês acham que as coisas são formadas?

Vocês sabem que tudo é composto de algum tipo de matéria!

Matéria é tudo aquilo que tem massa e ocupa lugar no espaço!

4) O que é o número atômico?

O número de prótons no núcleo de um átomo é chamado de número atômico (Z). Por exemplo, o número atômico do hidrogênio é 1, o que significa que ele possui somente 1 próton em seu núcleo atômico.

Tópico 2

Exercício Extra

1 - Sabendo que certo átomo tem massa específica igual a $3{,}2\ x\ 10^3\ kg/m^3$ e massa igual a $1{,}42x10^{-25}\ kg$. De que elemento é este átomo?

Resolução:

$$\mu = \frac{m}{V} \quad \text{logo,}$$

$$V = \frac{m}{\mu}$$

$$V = \frac{1{,}42x10^{-25}\ kg}{3{,}2\ x\ 10^3\ kg/m^3}$$

$$V = 4{,}43x10^{-29}\ m^3$$

$$V = \frac{4\pi r^3}{3} \text{ logo,}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{Vx3}{4\pi}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4{,}43x10^{-29}\ m^3x3}{4x3{,}14}}$$

$$r \cong 2{,}2\ x\ 10^{-10}\ m$$

Átomo de Rubídio.

Tópico 5

Exercício

Utilizando a equação que relaciona o raio do átomo com a aresta do cubo, vamos resolver um exercício individualmente:

1) Sabendo que o ouro e a platina são metais que cristalizam em uma estrutura monoatômica com rede cúbica de face centrada, com raios atômicos respectivamente iguais a 0,144 nm e 0,139 nm. Calcule o volume de uma unidade básica do cristal de cada elemento, em metros cúbicos.

Podem visualizar e manusear as estruturas construídas na aula de hoje para auxiliar na resolução do exercício!

Resolução:

Sabendo que $1nm = 1x10^{-9}m$

Para o ouro:

R = $0{,}144x10^{-9}m$

$a = 2R\sqrt{2}$

$a = 2\ x\ 0{,}144x10^{-9}m\ x\ \sqrt{2}$

$a \cong\ 4{,}07x10^{-10}m$

$V =\ a^3$

$V =\ (4{,}07x10^{-10}m)^3$

$V = 6{,}76\ x10^{-29}m^3$

Para a platina:

R = $0{,}139x10^{-9}m$

$a = 2R\sqrt{2}$

$a = 2.0{,}139x10^{-9}m.\sqrt{2}$

$a \cong\ 3{,}93\ x10^{-10}m$

$V =\ a^3$

$V =\ (3{,}93x10^{-10}m)^3$

$V = 6{,}06\ x10^{-29}m^3$

Tópico 6

Exercícios Avaliativos

1) Considerando as estruturas cristalinas monoatômicas cúbica de corpo centrado, cúbica de face centrada, tetragonal e ortorrômbica de base centrada. Quantos átomos estão contidos em cada um dos quatro tipos de redes de Bravais que foram citadas?

a) Cúbica de corpo centrado:______________________________________

b) Cúbica de face centrada:_______________________________________

c) Tetragonal:____

d) Ortorrômbica de base centrada:__________________________________

Respostas:

a) 2 átomos.

b) 4 átomos.

c) 1 átomo.

d) 2 átomos.

2) Sabendo que o alumínio cristaliza em uma estrutura monoatômica com rede cúbica de face centrada e que o parâmetro de rede do cristal de alumínio vale 0,405nm, calcule:

a) o raio do átomo;

b) a massa específica do alumínio (cristal).

Resolução:

a) $a = 0{,}405nm = 0{,}405x10^{-9}m$

Podemos utilizar a relação trabalhada na aula anterior:

$a = 2R\sqrt{2}$

$0,405x10^{-9}m = 2R\sqrt{2}$

$R = \frac{0,405x10^{-9}m}{2\sqrt{2}}$

$R = 1,43\ x\ 10^{-10}m$

b) Volume:

V = a³

$$V = (0,405x10^{-9}m)^3$$

$$V = 6,643x10^{-29}m^3$$

$m_{átomo\ de\ alumínio} = 4,5\ x\ 10^{-26}kg$

Como, na unidade básica da estrutura cristalina do alumínio temos 4 átomos por unidade de rede:

$m_{cristal\ de\ alumínio} = 4\ x\ 4,5\ x\ 10^{-26}kg$

$m_{cristal\ de\ alumínio} = 1,8x\ 10^{-25}kg$

Logo para a massa específica do alumínio, temos:

$$\mu = \frac{m}{V}$$

$$\mu = \frac{1,8x\ 10^{-25}kg}{6,643x10^{-29}m^3}$$

$$\mu \cong 2709\ kg/m^3$$

$$\mu \cong 2,7g/cm^3$$

3) O ferro, na temperatura ambiente, cristaliza em uma estrutura monoatômica com rede cúbica de corpo centrado. De acordo com a Figura 2.3 utilize para o raio atômico 0,124 nm, calcule:

a) o valor do parâmetro de rede “a” em nanômetros;

b) volume de uma unidade básica do cristal de ferro;

c) a massa específica do ferro (cristal);

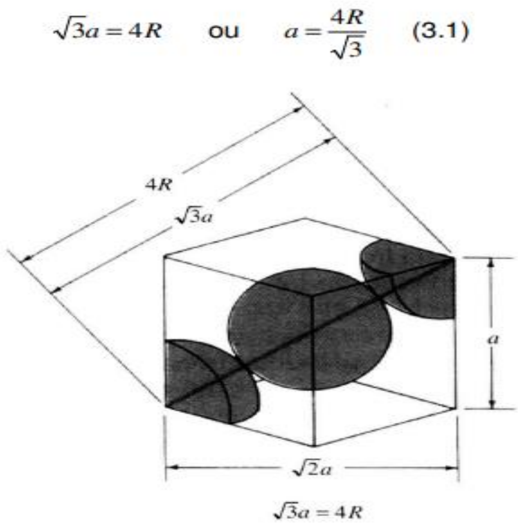
A alternativa de letra d é extra, ganha ponto quem resolver corretamente.

d) volume ocupado pelos átomos dentro de uma unidade básica do cristal de ferro.

Resolução:

a) Relação da diagonal do cubo com o raio do átomo: $4R = a\sqrt{3}$
Raio = $0{,}124nm$

Representação de cubo com átomos na sua diagonal.



Fonte: Nora Diaz Mora, 2010. Unioeste.
Disponível em: http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/

$$4R = a\sqrt{3}$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

$$a = \frac{4x\ 0{,}124nm}{\sqrt{3}}$$

$$a \cong 0{,}286nm$$

$$a \cong 0{,}286x10^{-9}m$$

b) Para o volume da unidade básica do cristal de ferro precisamos do valor do parâmetro de rede:

$$a = 0{,}286nm = 0{,}286x10^{-9}m$$

$$V = a^3$$

$$V = (0{,}286x10^{-9}\ m)^3$$

$$V = 2{,}33x10^{-29}m^3$$

c) $m_{átomo\ de\ ferro} = 9{,}38\ x\ 10^{-26}kg$

Como em cada unidade básica do cristal de ferro temos 2 átomos: $m = 2\ x\ 9{,}38\ x\ 10^{-26}kg$

$m_{cristal\ de\ ferro} = 1{,}88x\ 10^{-25}kg$

Logo para a massa específica do ferro, temos:

$$\mu = \frac{m}{V}$$

$$\mu = \frac{1{,}88x\ 10^{-25}kg}{2{,}33x10^{-29}m^3}$$

$$\mu \cong\ 8000\ kg/m^3$$

$$\mu \cong\ 8\ g/cm^3$$

Observar que podemos comparar a massa específica calculada para o cristal é a massa específica do ferro.

d) Sendo o raio do átomo de ferro igual a 0,124 nm.

$$R =\ 0{,}124\ nm = 1{,}24\ x10^{-10}m$$

$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

$$V = \frac{4x3{,}14x(1{,}24\ x10^{-10}m)^3}{3}$$

$$V = \frac{4x3{,}14x(1{,}24\ x10^{-10}m)^3}{3}$$

$$V = 7{,}98x10^{-30}m^3$$

Como em cada unidade básica do cristal de ferro temos 2 átomos:

Volume ocupado pelos dois átomos é dê:

$$V = 7{,}98\ x\ 10^{-30}m^3 \text{ x } 2$$

$$V \cong 1{,}6\ x\ 10^{-29}m^3$$

Aqui podemos comparar o volume ocupado pelos átomos com o volume da unidade básica do cristal de ferro, podemos perceber que:

$$V_{volume\ do\ cristal\ de\ Fe} = 2{,}33x10^{-29}m^3$$

$$V_{volume\ ocupado} \cong 1,6\ x\ 10^{-29} m^3$$

Então, $7,3\ x\ 10^{-30} m^3$ não estão ocupados, os dois átomos ocupam cerca de 69% da estrutura cristalina.

Desafio – Ponto Extra

Este exercício 4 será avaliado com ponto extra somente para os estudantes que optarem por realizá-lo.

4) Suponha que você seja um cientista e que, com seus instrumentos tecnológicos para pesquisa, você consiga criar, em laboratório, um mineral que cristaliza em uma estrutura monoatômica com rede monoclínica simples. Use sua imaginação, dê um nome ao mineral, defina qual elemento químico está presente em sua estrutura e quais são as medidas das arestas e o ângulo β de inclinação de seu cristal. Faça uma representação gráfica (desenhe) o cristal e indique, na imagem, as medidas adotadas. De acordo com as medidas adotadas, calcule o volume da unidade básica da estrutura cristalina e a massa específica deste mineral.

Exemplo de Resolução:

Para calcular o volume do sólido indicado, precisamos multiplicar a área da base pelo valor da altura da figura. Para calcular a altura da figura precisaremos utilizar o ângulo de inclinação e alguns conceitos da trigonometria.

Supondo que o cristal tenha as seguintes medidas:

Arestas da base: 7,5 Å e 17Å

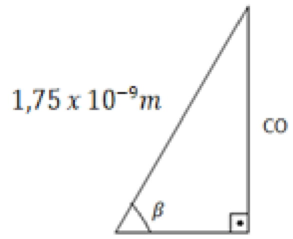
Aresta lateral: 17,5Å

Para encontrar a altura da figura:

Sendo a aresta lateral 17,5Å e a altura que procuramos representa o cateto oposto ao ângulo β (60°).

$$17,5\text{Å} = 17,5\ x\ 10^{-10} m = 1,75\ x\ 10^{-9} m$$

Figura 6.2 – Triângulo retângulo com cateto oposto representado a altura da unidade básica do cristal.



Fonte: Autoria própria, 2022.

$$Sen\ \beta = \frac{CO}{H}$$

$$Sen\ 60° = \frac{CO}{1{,}75\ x\ 10^{-9}m}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{CO}{1{,}75\ x\ 10^{-9}m}$$

$$CO = \frac{\sqrt{3}\ x\ 1{,}75\ x\ 10^{-9}m}{2}$$

$$CO = 1{,}5\ x\ 10^{-9}m$$

Logo, a altura da figura é $1{,}5\ x\ 10^{-9}m$.

Agora podemos calcular o volume da unidade básica do cristal:

$$V = A_{base}\ x\ h$$

$$V = 7{,}5\ x\ 10^{-10}m\ e\ 1{,}7\ x\ 10^{-9}m\ x\ 1{,}5\ x\ 10^{-9}m$$

$$V = 1{,}9\ x\ 10^{-27}m^3$$

Para a massa específica precisamos analisar qual elemento químico compõe esse mineral, supondo que ele contenha em sua estrutura só o elemento carbono.

Cada átomo de Carbono contém 6 prótons, 6 elétrons e 6 nêutrons, então para sua massa temos:

Massa do elétron ≅ $9{,}11\ x\ 10^{-31}\ kg\ x\ 6 =\ 5{,}46\ x\ 10^{-30}kg$

Massa do próton ≅ $1{,}673\ x\ 10^{-27}kg\ x\ 6 =\ 1{,}0038\ x\ 10^{-26}kg$

Massa do nêutron ≅ $1{,}675\ x\ 10^{-27}kg\ x\ 6 =\ 1{,}005\ x\ 10^{-26}kg$

Total da massa do carbono: 2,009 $x\ 10^{-26}kg$

Massa específica deste mineral que cristaliza em uma rede monoclínica simples, temos apenas um átomo dentro da rede, logo:

$$\mu = \frac{m}{V}$$

$$\mu = \frac{2{,}009\ x\ 10^{-26} kg}{1{,}9\ x\ 10^{-27} m^3}$$

$$\mu = 10 kg/m^3$$