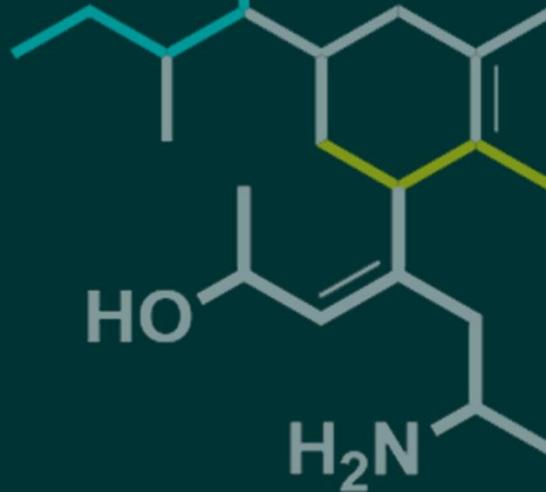


**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Bahia

Campus  
Santo Amaro



**10**  
anos

**Química  
orgânica  
no #enem**

**Orientação:**

*Elivana Lima França*

**Produção:**

*Camille Marçal dos Santos*

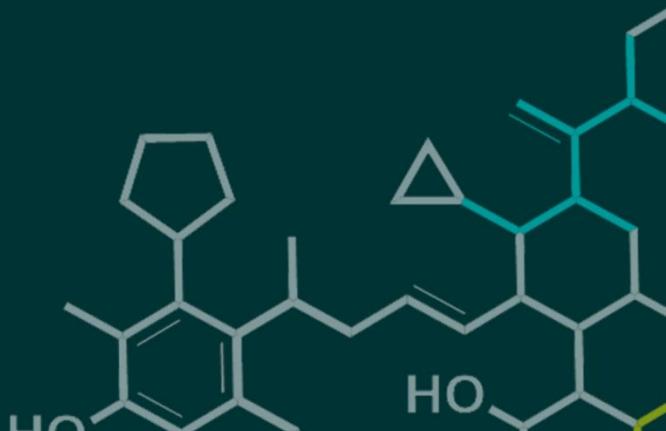
*Dalyla Pestana Leite*

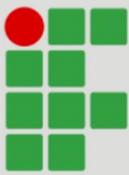
*Jean Anderson H.J. Santos*

*João Vitor Conceição Araújo*

*Kézia Santos Mendes*

**Santo Amaro - 2022**





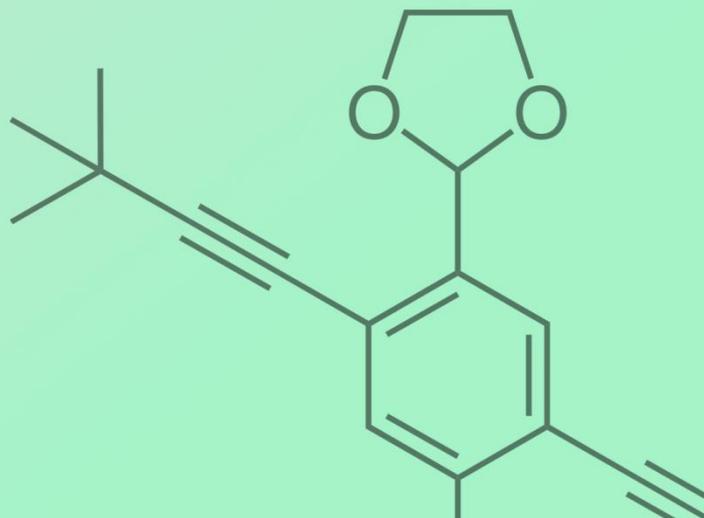
**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

**10**  
anos

**Química  
orgânica  
no #enem**



# APRESENTAÇÃO

O trabalho que você tem em mãos resultou do projeto de ensino “10 anos de Química Orgânica no ENEM”, aprovado pelo Edital CMAE nº 001/2021 do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) - *Campus Santo Amaro*. O projeto teve como objetivo principal o desenvolvimento de um material didático autoral, contendo a resolução comentada de questões de Química Orgânica, aplicadas nos últimos anos de provas do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Ele foi executado por cinco estudantes do terceiro ano do ensino médio integrado: Camille Marçal dos Santos, Dalyla Pestana Leite, Jean Anderson Hugo Jesus Santos, João Vitor Conceição Araújo e Kézia Santos Mendes e contou com a orientação da prof<sup>a</sup> M.a. Elivana Lima França.

Mas, o que você deve esperar das próximas páginas?

- Nós reunimos neste material as questões de Química Orgânica que fizeram parte das provas do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) durante os anos de 2009 até 2019, período que corresponde a primeira década de reformulação do certame. Ao todo foram analisadas 22 provas, contando com as aplicações regulares, PPL, segunda e terceira aplicação.
- Organizamos as questões selecionadas por conteúdo, para melhorar a sistematização dos seus estudos e oferecer um panorama dos conteúdos mais e menos cobrados no ENEM.
- Para cada questão nós desenvolvemos uma resposta autoral para ajudar você na compreensão de cada resolução. Procuramos adotar uma linguagem acessível e utilizamos figuras e esquemas também autorais, para facilitar a sua aprendizagem. Além disso, disponibilizamos ainda QR-Codes com vídeo-resoluções confiáveis de professores e cursinhos na plataforma Youtube®, caso você precise de uma ajudinha a mais!

Como este material didático pode ajudar você?

O nosso intuito com esta produção é ajudar os estudantes que estão em processo de preparação para o ENEM. Em especial, auxiliar os discentes oriundos de escolas públicas que, além de enfrentar um *déficit* de aprendizagem causado pelo contexto da pandemia do COVID-19, não possuem recursos financeiros para financiar cursinhos particulares com foco no exame. Assim, buscamos produzir um material que dialogasse diretamente com esse público, utilizando os recursos textuais e gráficos da forma mais didática possível, para entregar a você, colega e leitor, o máximo de familiaridade aos conteúdos abordados na resolução das questões, ampliando e consolidando as competências e habilidades exigidas pelo ENEM.

E, por que Química Orgânica?

A preferência na escolha por Química Orgânica não se deu por acaso. O montante de questões referente a este componente curricular no ENEM é elevado, o que torna seu domínio uma ferramenta fundamental para sua futura e almejada aprovação. Só para você ter uma ideia, neste período de dez anos, nós selecionamos um total de 76 questões de Química Orgânica! Uma média de aproximadamente 7 questões anuais relativas a esta disciplina. Deu para notar como a Química Orgânica é essencial para a obtenção de bons resultados no exame?

Como este material está organizado?

Este trabalho está organizado em 17 capítulos, que correspondem a conteúdos da Química Orgânica. Em cada capítulo, as questões são apresentadas em ordem anual. Após cada questão, você encontra imediatamente a resposta comentada com o gabarito e um QR-Code que redireciona você para uma vídeo-resolução confiável, que selecionamos de professores e cursinhos na plataforma Youtube®.

E por fim,

**Estaremos na torcida para que nossa obra possa contribuir de forma significativa com a sua aprendizagem. Esperamos que este material se configure como uma ferramenta primordial na conquista de um excelente desempenho no ENEM e na tão sonhada aprovação no curso superior de sua escolha.**

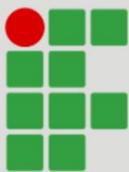
# SUMÁRIO

<b>1-CLASSIFICAÇÃO DOS CARBONOS EM UMA CADEIA .....</b>	<b>10</b>
ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 90 - CADERNO AZUL.....	10
ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 126 - CADERNO AZUL.....	13
<b>2-CLASSIFICAÇÃO DAS CADEIAS CARBÔNICAS .....</b>	<b>18</b>
ENEM 2012 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 50 - CADERNO BRANCO.....	18
ENEM 2013 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 67 - CADERNO BRANCO.....	21
ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 54 - CADERNO AZUL.....	22
ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 77 - CADERNO AZUL.....	25
<b>3-FÓRMULAS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>29</b>
ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 132 - CADERNO AZUL.....	29
<b>4-HIDROCARBONETOS .....</b>	<b>32</b>
ENEM 2011 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 90 - CADERNO AZUL.....	32
ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 53 - CADERNO AZUL.....	33
<b>5-HIDROCARBONETOS COMO FONTE DE ENERGIA .....</b>	<b>37</b>
ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 49 - CADERNO AZUL.....	37
ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 124 - CADERNO AZUL.....	38
<b>6-NOMENCLATURA.....</b>	<b>42</b>
ENEM 2012 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 85 - CADERNO BRANCO.....	42
ENEM 2019 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 98 - CADERNO AZUL.....	44
<b>7-IDENTIFICAÇÃO DE GRUPOS FUNCIONAIS .....</b>	<b>50</b>
ENEM 2010 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 80 - CADERNO AZUL.....	50
ENEM 2010 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 80 - CADERNO AZUL.....	53
ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 49 - CADERNO AZUL.....	55
ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 68 - CADERNO AZUL.....	58
ENEM 2015 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 59 - CADERNO AZUL.....	61
ENEM 2015 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 69 - CADERNO BRANCO.....	63
ENEM 2017 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 114 - CADERNO AZUL.....	66

<b>8-GEOMETRIA DOS ÁTOMOS DE CARBONO.....</b>	<b>70</b>
ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 65 - CADERNO AZUL.....	70
<b>9-POLARIDADE .....</b>	<b>74</b>
ENEM 2009 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 36 - CADERNO AZUL.....	74
ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 58 - CADERNO AZUL.....	78
<b>10-FORÇAS INTERMOLECULARES .....</b>	<b>83</b>
ENEM 2011 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 58 - CADERNO AZUL.....	83
ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 86 - CADERNO AZUL.....	84
ENEM 2014 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 75 - CADERNO BRANCO.....	88
ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 80 - CADERNO AZUL.....	90
ENEM 2015 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 56 - CADERNO BRANCO.....	92
ENEM 2016 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 52 - CADERNO BRANCO.....	95
ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 60 - CADERNO AZUL.....	97
ENEM 2017 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 130 - CADERNO AZUL.....	98
ENEM 2019 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 108 - CADERNO AZUL.....	101
ENEM 2019 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 112 - CADERNO AZUL.....	103
ENEM 2019 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 116 - CADERNO AZUL.....	105
<b>11-ESTRUTURA DAS LIGAÇÕES .....</b>	<b>110</b>
ENEM 2014 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 76 - CADERNO BRANCO.....	110
ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 131 - CADERNO AZUL.....	112
ENEM 2019 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 120 - CADERNO AZUL.....	114
<b>12-HIBRIDIZAÇÃO .....</b>	<b>118</b>
ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 130 - CADERNO AZUL.....	118
<b>13-SOLUBILIDADE .....</b>	<b>122</b>
ENEM 2010 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 79 - CADERNO AZUL.....	122
ENEM 2011 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 55 - CADERNO AZUL.....	124
ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 70 - CADERNO AZUL.....	126
ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 79 - CADERNO AZUL.....	129
ENEM 2015 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 53 - CADERNO BRANCO.....	133

ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 46 - CADERNO AZUL.....	134
ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 81 - CADERNO AZUL.....	136
ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 114 - CADERNO AZUL.....	139
ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 120 - CADERNO AZUL.....	142
ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 96 - CADERNO AZUL.....	146
ENEM 2018 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 134 - CADERNO AZUL.....	148
ENEM 2019 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 134 - CADERNO AZUL.....	151
<b>14-ISOMERIA ESPACIAL .....</b>	<b>154</b>
ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 58 - CADERNO AZUL.....	154
ENEM 2016 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 71 - CADERNO BRANCO.....	158
ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 52 - CADERNO AZUL.....	162
ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 128 - CADERNO AZUL.....	166
ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 91 - CADERNO AZUL.....	170
ENEM 2018 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 112 - CADERNO AZUL.....	173
<b>15-ISOMERIA ÓPTICA.....</b>	<b>177</b>
ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 52 - CADERNO AZUL.....	177
ENEM 2018 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 106 - CADERNO AZUL.....	178
ENEM 2019 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 97 - CADERNO AZUL.....	181
<b>16-ACIDEZ E BASICIDADE EM COMPOSTOS ORGÂNICOS.....</b>	<b>185</b>
ENEM 2010 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 77 - CADERNO AZUL.....	185
ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 69 - CADERNO AZUL.....	186
ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 86 - CADERNO AZUL.....	188
ENEM 2015 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 52 - CADERNO BRANCO.....	190
ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 119 - CADERNO AZUL.....	192
<b>17-REAÇÕES ORGÂNICAS .....</b>	<b>198</b>
<i>SUBSTITUIÇÃO NUCLEOFÍLICA NO CARBONO ACÍLICO .....</i>	<i>198</i>
ENEM 2011 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 72 - CADERNO AZUL .....	198
ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 109 - CADERNO AZUL .....	200
<i>COMBUSTÃO EM ALCANOS .....</i>	<i>204</i>

ENEM 2011 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 79 - CADERNO AZUL .....	204
<i>SUBSTITUIÇÃO ELETROFÍLICA AROMÁTICA</i> .....	207
ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 66 - PROVA AZUL .....	207
<i>OXIDAÇÃO E REDUÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS</i> .....	211
ENEM 2015 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 60 - CADERNO AZUL .....	211
ENEM 2015 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 77 - CADERNO AZUL .....	213
ENEM 2017 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 134 - CADERNO AZUL .....	215
<i>SUBSTITUIÇÃO NUCLEOFÍLICA NO CARBONO SATURADO</i> .....	218
ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 76 - CADERNO AZUL .....	218
<i>ESTERIFICAÇÃO, TRANSESTERIFICAÇÃO E HIDRÓLISE DE ÉSTERES</i> .....	220
ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 58 - CADERNO AZUL .....	220
ENEM 2012 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 75 - CADERNO BRANCO ..	223
ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 54 - CADERNO AZUL .....	225
ENEM 2019 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 124 - CADERNO AZUL .....	227
<b>PERCENTUAL DE QUESTÕES POR CONTEÚDO</b> .....	<b>230</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>231</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>232</b>

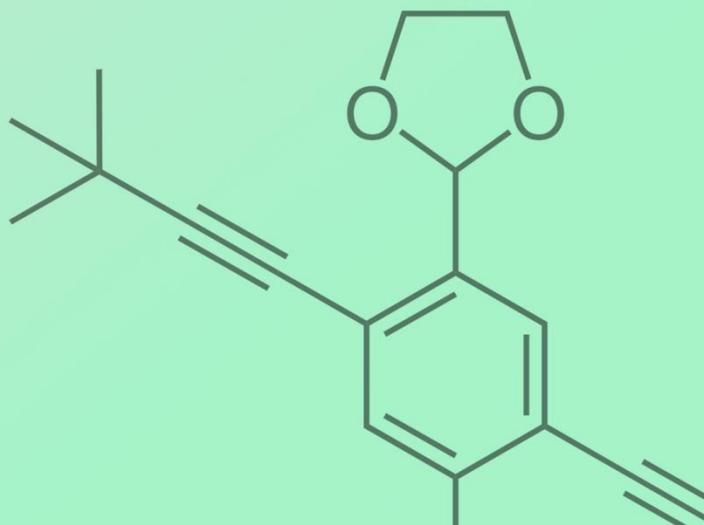


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

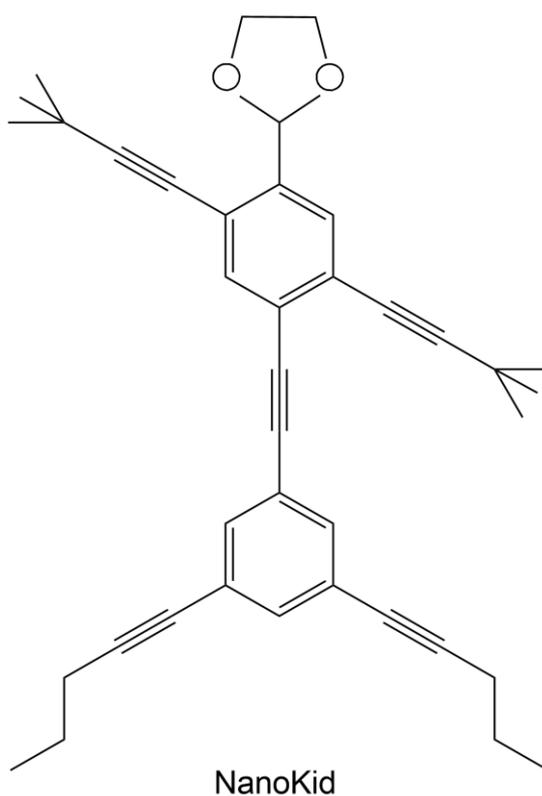
# *Classificação dos carbonos em uma cadeia*



## 1-CLASSIFICAÇÃO DOS CARBONOS EM UMA CADEIA

### ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 90 - CADERNO AZUL

As moléculas de *nanoputians* lembram figuras humanas e foram criadas para estimular o interesse de jovens na compreensão da linguagem expressa em fórmulas estruturais, muito usadas em química orgânica. Um exemplo é o *NanoKid*, representado na figura:



CHANTEAU, S. H.; TOUR, J. M. *The Journal of Organic Chemistry*, v. 68, n. 23, 2003 (adaptado).

Em que parte do corpo do *NanoKid* existe carbono quaternário?

- A) Mãos.
- B) Cabeça.
- C) Tórax.
- D) Abdômen.
- E) Pés.

## RESPOSTA COMENTADA

Ao estudar química orgânica vemos que existe uma forma de classificar os átomos de carbono na cadeia carbônica. Cada carbono pode ser classificado de acordo com a quantidade de carbonos ligados a ele.

→ Um carbono é primário quando faz ligação com apenas um átomo de carbono.

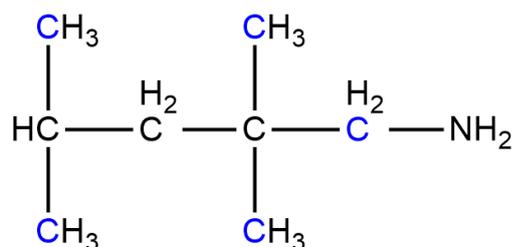


Figura 1: Em azul, carbonos primários em destaque.

**\*Atenção!** Esta classificação só considera ligações entre carbonos. Sendo assim, outros elementos químicos ligados ao carbono não são levados em consideração na hora da contagem.

→ Um carbono é secundário quando faz ligação a outros dois átomos de carbono.

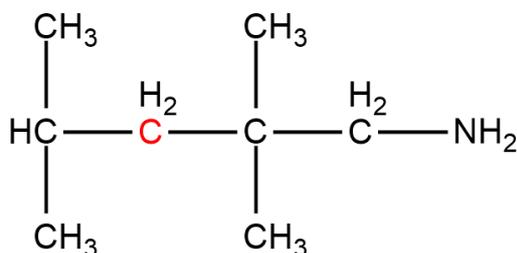


Figura 2: Em vermelho, carbono secundário em destaque.

→ Um carbono é terciário quando faz ligação com três átomos de carbono.

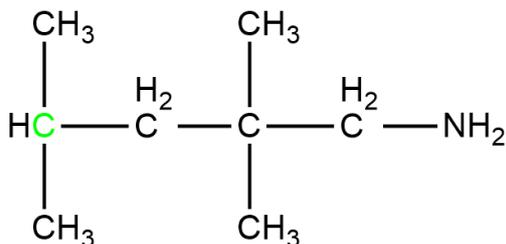
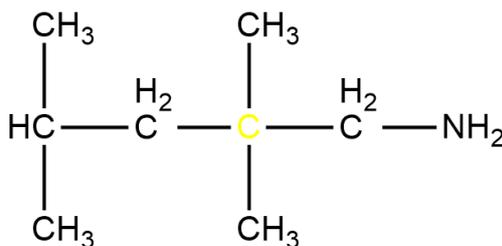


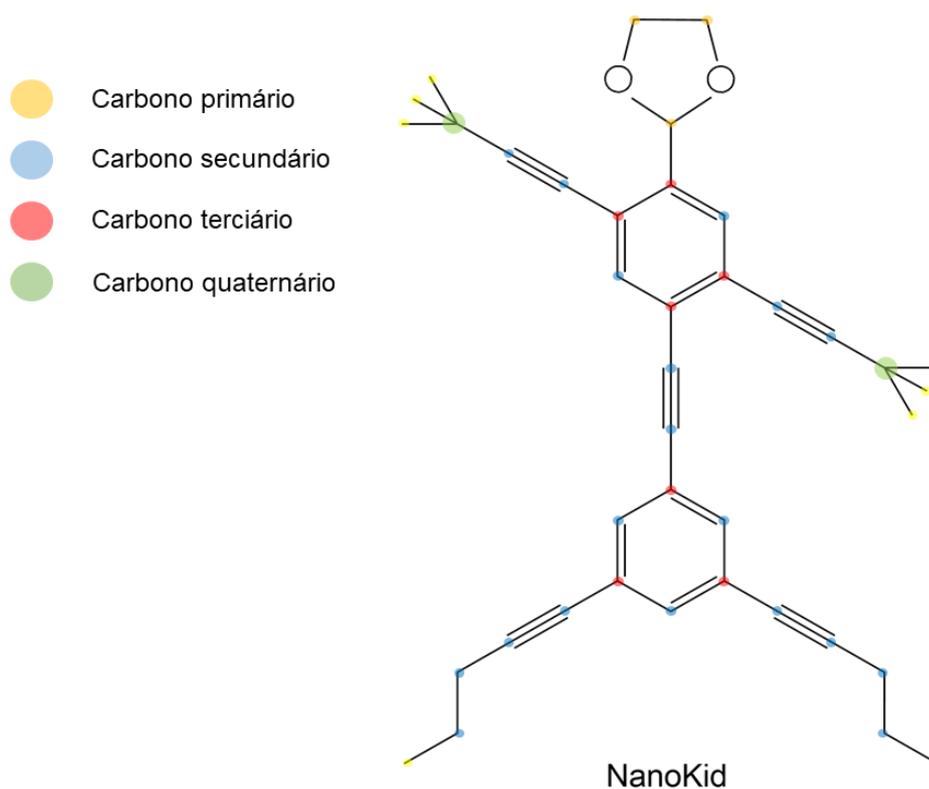
Figura 3: Em verde, carbono terciário em destaque.

→ Um carbono é quaternário quando faz ligação com quatro átomos de carbono.



**Figura 4:** Em amarelo, carbono quaternário em destaque.

A partir destas informações, é simples verificar a classificação de cada um dos carbonos no *NanoKid* e identificar a localização do carbono quaternário.



**Figura 5:** Nanokid em esquema com carbonos identificados e classificados.

O carbono quaternário destacado em verde se encontra nas mãos do *NanoKid*, o que faz da **alternativa A** correta.



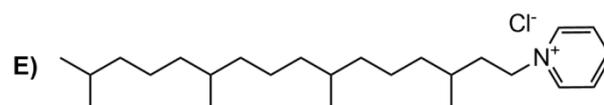
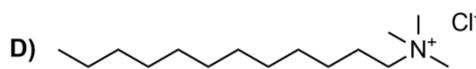
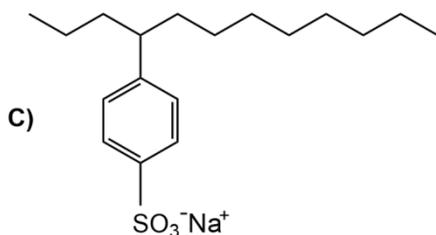
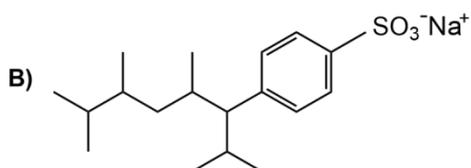
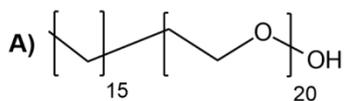
Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

#### ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 126 - CADERNO AZUL

Tensoativos são compostos orgânicos que possuem comportamento anfifílico, isto é, possuem duas regiões, uma hidrofóbica e outra hidrofílica. O principal tensoativo aniônico sintético surgiu na década de 1940 e teve grande aceitação no mercado de detergentes em razão do melhor desempenho comparado ao do sabão. No entanto, o uso desse produto provocou grandes problemas ambientais, dentre eles a resistência à degradação biológica, por causa dos diversos carbonos terciários na cadeia que compõe a porção hidrofóbica desse tensoativo aniônico. As ramificações na cadeia dificultam sua degradação, levando à persistência no meio ambiente por longos períodos. Isso levou a sua substituição na maioria dos países por tensoativos biodegradáveis, ou seja, com cadeias alquílicas lineares.

PENTEADO, J. C. P.; EL SEOUD, O. A.; CARVALHO, L. R. F. [...]: uma abordagem ambiental e analítica. *Química Nova*, n. 5, 2006 (adaptado).

Qual a fórmula estrutural do tensoativo persistente no ambiente mencionado no texto?



## RESPOSTA COMENTADA

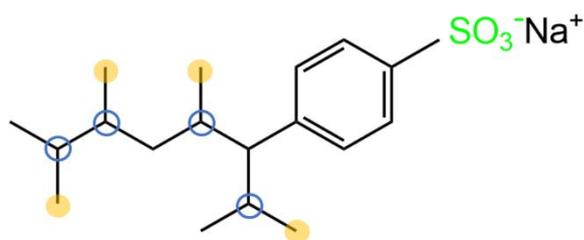
O tensoativo que é difícil de ser degradado possui **carbonos terciários** e **ramificações** na região hidrofóbica de sua cadeia. É também, um composto **aniônico** e isso quer dizer que ele forma íons carregados negativamente (-).

A) Nesta alternativa, a cadeia não possui nenhum carbono terciário, ramificações e nem mesmo um ânion. Essa molécula não se encaixa com a descrição do composto não-biodegradável referido acima.



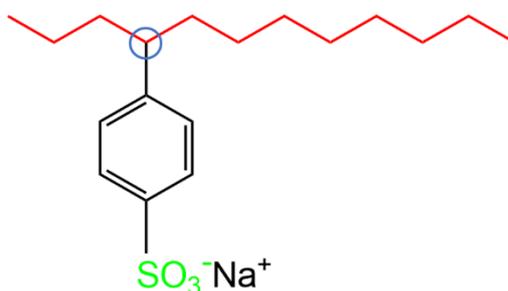
**Figura 6:** Cadeia do composto destacada em vermelho.

B) Nessa alternativa, vemos destacado em azul a presença de carbonos terciários na cadeia da molécula. Em amarelo, estão as ramificações que tornam essa parte da cadeia hidrofóbica e também de difícil degradação. Em verde, vemos o ânion  $\text{SO}_3^-$ , o que faz dessa molécula a única com as características do tensoativo procurado.



**Figura 7:** Em diferentes cores, estão sinalizados os carbonos terciários, ramificações e o ânion do composto.

C) Apesar de apresentar um ânion, e um anel aromático como ramificação, a sua cadeia principal é, em grande parte, linear e possui apenas um carbono terciário (destacado em azul).



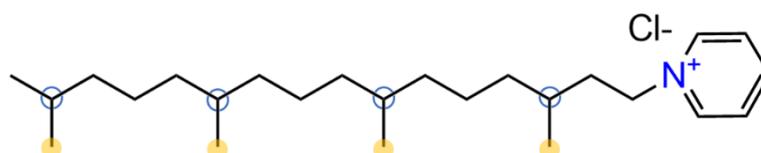
**Figura 8:** Carbono terciário do composto sinalizado com círculo azul, cadeia “linear” em vermelho e ânion em verde.

D) É um composto catiônico (+) em vez de aniônico (-) e tem uma cadeia completamente linear.



**Figura 9:** Composto com cadeia linear destacada em vermelho e ânion em azul escuro.

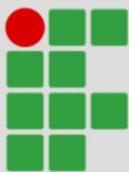
E) Apesar de possuir várias ramificações e carbonos terciários, é um composto catiônico.



**Figura 10:** Composto com ânion sinalizado em azul escuro, carbonos terciários em círculos azuis e ramificações em amarelo.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

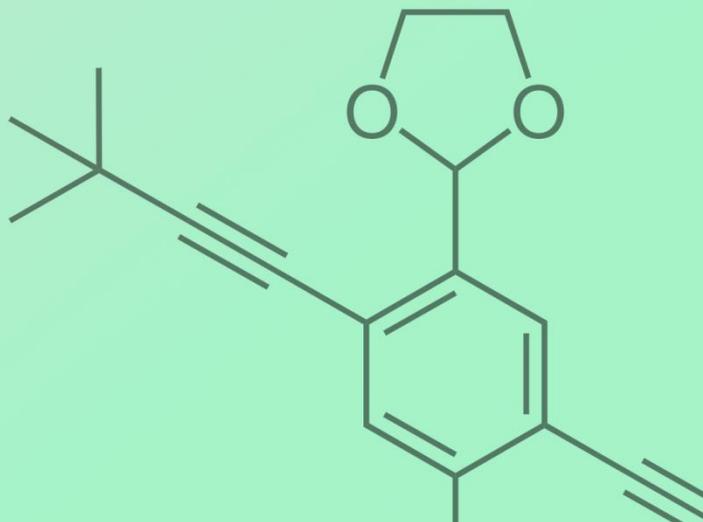


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Classificação das cadeias carbonicas*



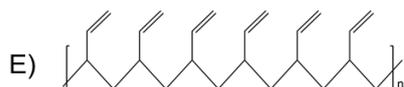
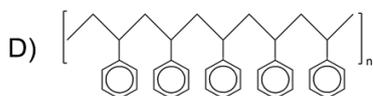
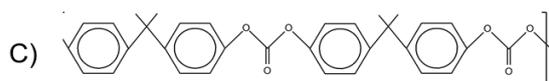
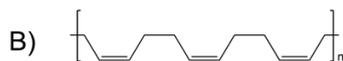
## 2-CLASSIFICAÇÃO DAS CADEIAS CARBÔNICAS

### ENEM 2012 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 50 - CADERNO BRANCO

O senso comum nos diz que os polímeros orgânicos (plásticos) em geral são isolantes elétricos. Entretanto, os polímeros condutores são materiais orgânicos que conduzem eletricidade. O que faz estes polímeros diferentes é a presença das ligações covalentes duplas conjugadas com ligações simples, ao longo de toda a cadeia principal, incluindo grupos aromáticos. Isso permite que um átomo de carbono desfaça a ligação dupla com um vizinho e refaça-a com outro. Assim, a carga elétrica desloca-se dentro do material.

FRANCISCO, R. H. P. Polímeros condutores. *Revista Eletrônica de Ciências*, n. 4, fev. 2002. Disponível em: [www.cdcc.usp.br](http://www.cdcc.usp.br). Acesso em: 29 fev. 2012 (adaptado).

De acordo com o texto, qual dos polímeros seguintes seria condutor de eletricidade?

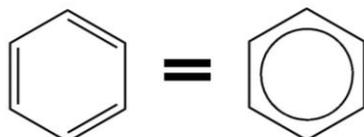


### RESPOSTA COMENTADA

O polímero condutor de eletricidade que procuramos deve apresentar, na cadeia de suas moléculas, ligações covalentes duplas conjugadas, isto é, uma cadeia na qual as ligações

alternam entre ligações simples e ligações covalentes (duplas) e que pode incluir grupos aromáticos.

Analisando o polímero na **alternativa A** vemos as ligações duplas destacadas em vermelho alternando com ligações simples e anéis aromáticos, que também são compostos numa alternância entre insaturações e ligações simples. Isto pode ser visualizado nesta outra possível forma de representar um composto aromático:



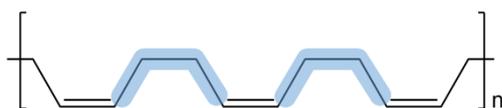
**Figura 11:** Duas diferentes representações para um anel aromático.

Esta alternativa é a correta.



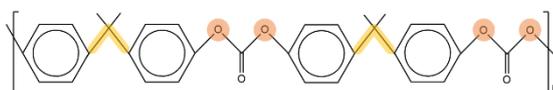
**Figura 12:** Ligações duplas destacadas no composto apresentado na alternativa A.

Na alternativa B as ligações duplas são seguidas por três ligações simples, o que não se caracteriza uma cadeia conjugada.



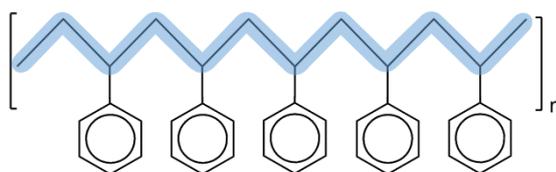
**Figura 13:** Ligações simples destacadas no composto apresentado na alternativa B.

Na alternativa C vemos que a cadeia também não é conjugada por ter duas ligações simples seguidas além de átomos de oxigênio no meio da cadeia.



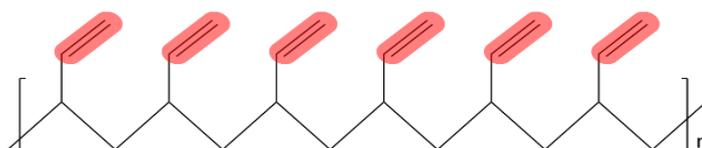
**Figura 14:** Ligações simples e átomos de oxigênio destacados no composto apresentado na alternativa C.

Na alternativa D, a mesma situação ocorre e a cadeia principal é completamente saturada (possui apenas ligações simples) e as insaturações estão presentes apenas nos anéis aromáticos.



**Figura 15:** Ligações simples destacadas no composto apresentado na alternativa D.

Na alternativa E a cadeia principal também é totalmente saturada e as insaturações ocorrem apenas nas ramificações etil.



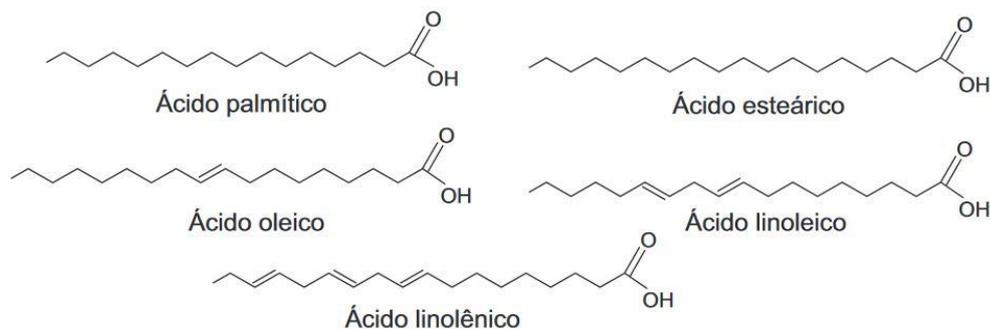
**Figura 16:** Ramificações saturadas destacadas no composto apresentado na alternativa E.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2013 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 67 - CADERNO BRANCO

A qualidade de óleos de cozinha, compostos principalmente por moléculas de ácidos graxos, pode ser medida pelo índice de iodo. Quanto maior o grau de insaturação da molécula, maior o índice de iodo determinado e melhor a qualidade do óleo. Na figura, são apresentados alguns compostos que podem estar presentes em diferentes óleos de cozinha:

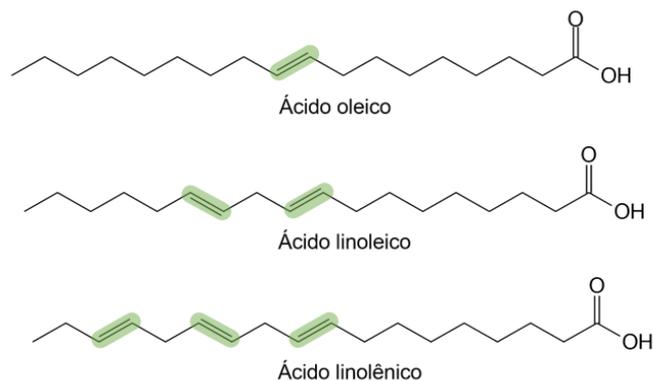


Dentre os compostos apresentados, os dois que proporcionam melhor qualidade para os óleos de cozinha são os ácidos

- A) esteárico e oleico.
- B) linolênico e linoleico.
- C) palmítico e esteárico.
- D) palmítico e linolênico.
- E) linolênico e esteárico.

### RESPOSTA COMENTADA

Como informado no enunciado da questão, os ácidos de maior qualidade apresentam maior grau de insaturação na molécula, ou seja, presença de ligações duplas e triplas. Entre os compostos mostrados, os únicos que apresentam insaturação na cadeia carbônica são os ácidos oleico, linoleico e linolênico.



**Figura 17:** Instaurações destacadas em alguns dos compostos apresentados na questão.

Porém, o ácido oleico tem apenas uma insaturação, enquanto o linoleico e o linolênico apresentam 2 e 3 insaturações, respectivamente, que faz da **alternativa B** a única correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 54 - CADERNO AZUL**

O biodiesel não é classificado como uma substância pura, mas como uma mistura de ésteres derivados dos ácidos graxos presentes em sua matéria-prima. As propriedades do biodiesel variam com a composição do óleo vegetal ou gordura animal que lhe deu origem, por exemplo, o teor de ésteres saturados é responsável pela maior estabilidade do biodiesel frente

à oxidação, o que resulta em aumento da vida útil do biocombustível. O quadro ilustra o teor médio de ácidos graxos de algumas fontes oleaginosas.

Fonte oleaginosa	Teor médio do ácido graxo (% em massa)					
	Mirístico (C14:0)	Palmítico (C16:0)	Estearico (C18:1)	Oleico (C18:1)	Linoleico (C18:2)	Linolênico (C18:3)
Milho	< 0,1	11,7	1,9	25,2	60,6	0,5
Palma	1,0	42,8	4,5	40,5	10,1	0,2
Canola	< 0,2	3,5	0,9	64,4	22,3	8,2
Algodão	0,7	20,1	2,6	19,2	55,2	0,6
Amendoim	< 0,6	11,4	2,4	48,3	32,0	0,9

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel Production: a review. *Bioresource Technology*, Londres, v. 70, n. 1, jan. 1999 (adaptado).

Qual das fontes oleaginosas apresentadas produziria um biodiesel de maior resistência à oxidação?

- A) Milho
- B) Palma.
- C) Canola.
- D) Algodão.
- E) Amendoim.

### RESPOSTA COMENTADA

Segundo a questão, o teor de ésteres saturados é o que garante resistência à oxidação. Na tabela, podemos ver, abaixo do nome dos ácidos graxos, uma simbologia utilizada para representar os ácidos graxos e que faz uso de um sistema alfanumérico que se inicia com a

letra C seguida do número de carbonos da molécula e o número de insaturações na cadeia carbônica.

Fonte oleaginosa	Teor médio do ácido graxo (% em massa)					
	Mirístico (C14:0)	Palmítico (C16:0)	Esteárico (C18:1)	Oleico (C18:1)	Linoleico (C18:2)	Linolênico (C18:3)
Milho	< 0,1	11,7	1,9	25,2	60,6	0,5
Palma	1,0	42,8	4,5	40,5	10,1	0,2
Canola	< 0,2	3,5	0,9	64,4	22,3	8,2
Algodão	0,7	20,1	2,6	19,2	55,2	0,6
Amendoim	< 0,6	11,4	2,4	48,3	32,0	0,9

Como estamos procurando por ésteres **saturados**, o teor de ácidos graxos dos ácidos **oleico**, **linoleico** e **linolênico** já não precisam ser levados em consideração, já que apresentam, ao menos, uma insaturação em sua cadeia.

Agora, entre os compostos restantes, vamos observar o valor numérico do teor de ácidos graxos em cada uma das fontes oleaginosas. Quanto maior for esse valor, maior a qualidade do biodiesel.

Fonte oleaginosa	Teor médio do ácido graxo (% em massa)					
	Mirístico (C14:0)	Palmítico (C16:0)	Esteárico (C18:1)	Oleico (C18:1)	Linoleico (C18:2)	Linolênico (C18:3)
Milho	< 0,1	11,7	1,9	25,2	60,6	0,5
Palma	1,0	42,8	4,5	40,5	10,1	0,2
Canola	< 0,2	3,5	0,9	64,4	22,3	8,2
Algodão	0,7	20,1	2,6	19,2	55,2	0,6
Amendoim	< 0,6	11,4	2,4	48,3	32,0	0,9

É possível notar que o teor de ácidos da palma é sempre superior ao de todas as outras oleaginosas e, portanto, a **alternativa B** é a correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 77 - CADERNO AZUL

O estudo de compostos orgânicos permite aos analistas definir propriedades físicas e químicas responsáveis pelas características de cada substância descoberta. Um laboratório investiga moléculas quirais cuja cadeia carbônica seja insaturada, heterogênea e ramificada.

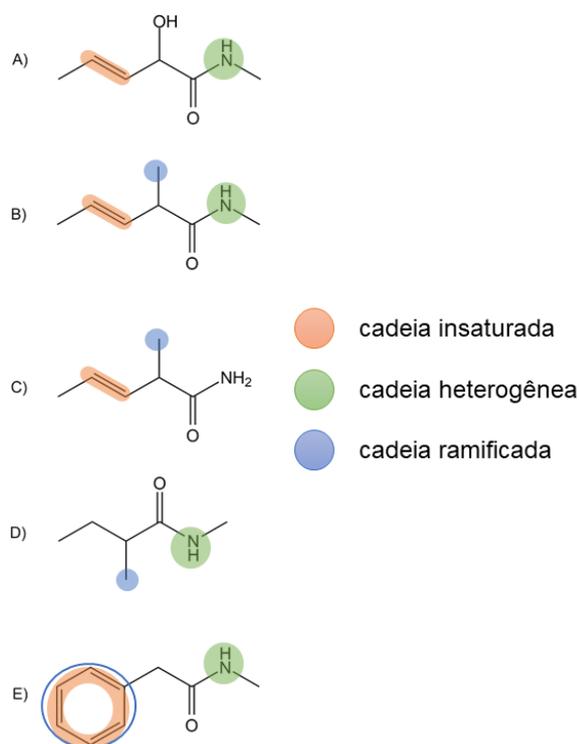
A fórmula que se enquadra nas características da molécula investigada é

- A)  $\text{CH}_3\text{-(CH)}_2\text{-CH(OH)-CO-NH-CH}_3$
- B)  $\text{CH}_3\text{-(CH)}_2\text{-CH(CH}_3\text{)-CO-NH-CH}_3$
- C)  $\text{CH}_3\text{-(CH)}_2\text{-CH(CH}_3\text{)-CO-NH}_2$
- D)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{)-CO-NH-CH}_3$
- E)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2\text{-CO-NH-CH}_3$

### RESPOSTA COMENTADA

A molécula que procuramos tem algumas especificidades em sua cadeia. Ela deve ser: insaturada, heterogênea e ramificada. No quadro abaixo, todas as alternativas estão

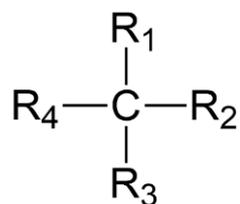
representadas em sua fórmula condensada linear e estão destacadas a presença dessas especificidades buscadas na cadeia.



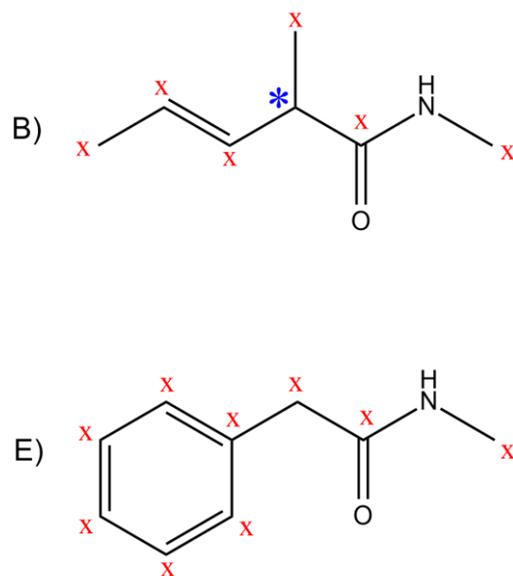
**Figura 18:** Especificidades de cadeia destacadas em fórmula linear condensada.

As únicas moléculas que possuem cadeia saturada, heterogênea e ramificada estão nas alternativas B) e E).

A molécula que procuramos deve, também, ser uma molécula quiral que é composta por, pelo menos, um carbono quiral, isto é, um carbono com hibridização  $sp^3$  e que faz quatro ligações simples com quatro grupos diferentes.



**Figura 19:** Átomo de carbono quiral no centro. Os grupos  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$  devem ser distintos.

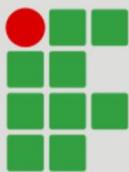


**Figura 20:** Identificação de carbono quiral destacado em azul na alternativa B).

Sendo assim, apenas a molécula da **alternativa B** apresenta um carbono quiral, o que faz dela a alternativa correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

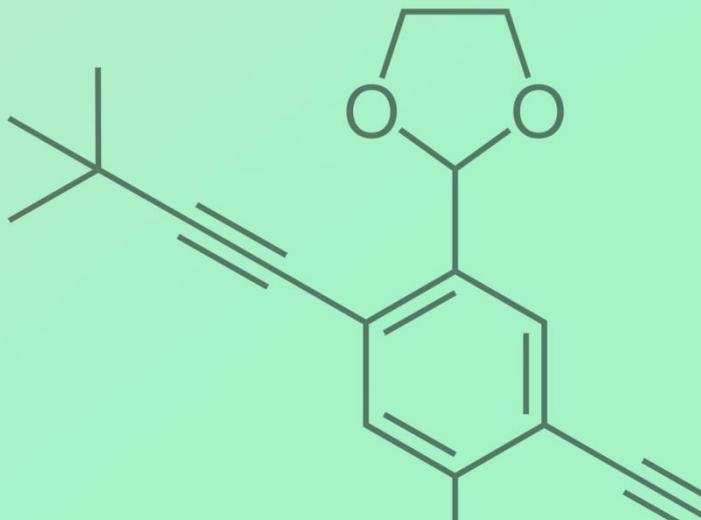


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Fórmulas estruturais*



### 3-FÓRMULAS ESTRUTURAIS

#### ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 132 - CADERNO AZUL

As abelhas utilizam a sinalização química para distinguir a abelha-rainha de uma operária, sendo capazes de reconhecer diferenças entre moléculas. A rainha produz o sinalizador químico conhecido como ácido 9-hidrodec-2-enoico, enquanto as abelhas-operárias produzem ácido 10-hidrodec-2-enoico. Nós podemos distinguir as abelhas-operárias e rainhas por sua aparência, mas, entre si, elas usam essa sinalização química para perceber a diferença. Pode-se dizer que veem por meio da química.

LE COUTEUR, R; BURRESON, J. Os botões de Napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006 (adaptado).

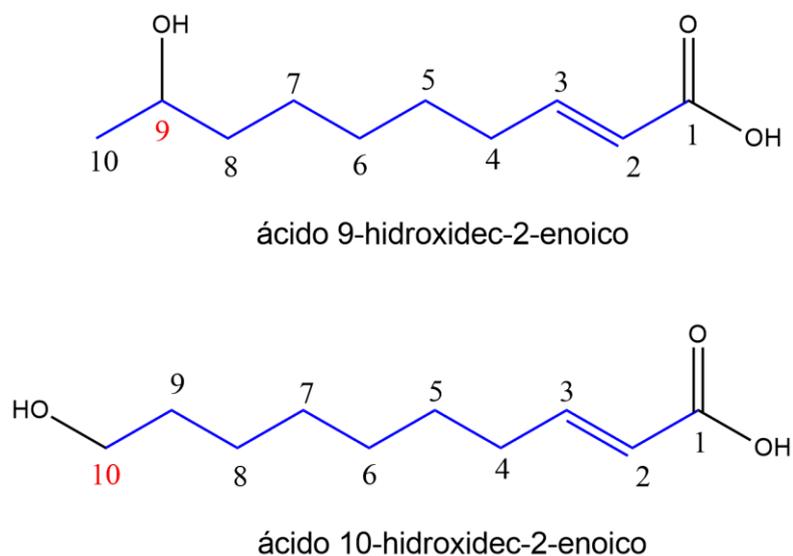
As moléculas dos sinalizadores químicos produzidos pelas abelhas rainha e operária possuem diferença na

- A) fórmula estrutural.
- B) fórmula molecular.
- C) identificação dos tipos de ligação.
- D) contagem do número de carbonos.
- E) identificação dos grupos funcionais.

#### RESPOSTA COMENTADA

As abelhas, dependendo de sua posição hierárquica, liberam sinalizadores químicos que funcionam como forma de reconhecimento e identificação entre si. Enquanto a abelha rainha libera uma substância denominada ácido 9-hidrodec-2-enoico, as abelhas operárias liberam ácido 10-hidrodec-2-enoico. Observe que, a partir da análise das nomenclaturas, é possível perceber que ambas as moléculas possuem exatamente a mesma fórmula molecular ( $C_{10}H_{18}O_3$ ), mesmos tipos de ligação (uma ligação dupla no carbono 2), e grupos funcionais iguais (-COOH e -OH). A única diferença entre elas reside na posição do grupo hidroxila

(-OH), que em uma molécula está situada no carbono 9 e na outra no carbono 10. Nesse sentido, ambos os compostos são considerados isômeros de posição, ou seja, a única diferença entre eles se dá pela fórmula estrutural plana, especificamente na posição das hidroxilas. Veja abaixo a estrutura molecular de ambos os sinalizadores (figuras 21):



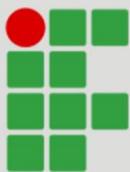
**Figura 21:** estrutura molecular do 9-hidroxidec-2-enoico e do 10-hidroxidec-2-enoico.

Portanto, a diferença que existe entre essas moléculas é notada na sua fórmula estrutural.

**Alternativa A.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.



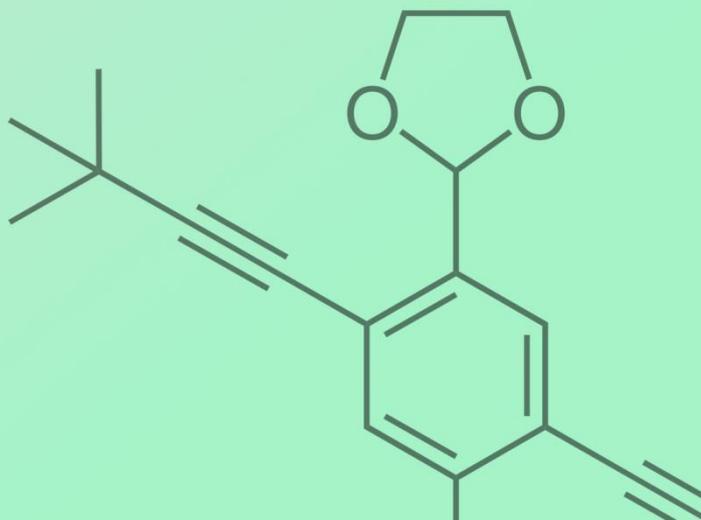
**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro



# ***Hidrocarbonetos***



## 4-HIDROCARBONETOS

### ENEM 2011 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 90 - CADERNO AZUL

De acordo com o relatório “A grande sombra da pecuária” (Livestock’s Long Shadow), feito pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação, o gado é responsável por cerca de 18% do aquecimento global, uma contribuição maior que a do setor de transportes.

A criação de gado em larga escala contribui para o aquecimento global por meio da emissão de



- A) metano durante o processo de digestão.
- B) óxido nitroso durante o processo de ruminação.
- C) clorofluorcarbono no transporte de carne.
- D) óxido nitroso durante o processo respiratório.
- E) dióxido de enxofre durante o consumo de pastagens

## RESPOSTA COMENTADA

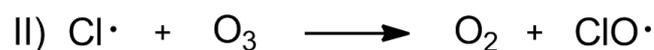
Os animais bovinos fazem a digestão da celulose através do mutualismo com bactérias anaeróbicas. Nesse processo, as bactérias liberam como subproduto do seu metabolismo o gás metano que é um grande agente agravador do efeito estufa. E, por esse motivo, pode-se afirmar que a criação de gado para produção de carne, em grandes proporções, contribui diretamente com o aumento da emissão de gás metano na atmosfera. A **alternativa A** seria a correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 53 - CADERNO AZUL

O rótulo de um desodorante aerossol informa ao consumidor que o produto possui em sua composição os gases isobutano, butano e propano, dentre outras substâncias. Além dessa informação, o rótulo traz, ainda, a inscrição “Não contém CFC”. As reações a seguir, que ocorrem na estratosfera, justificam a não utilização de CFC (clorofluorcarbono ou Freon) nesse desodorante:



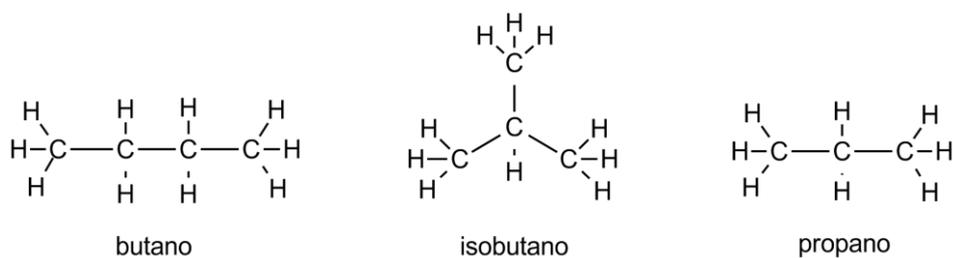
A preocupação com as possíveis ameaças à camada de ozônio ( $\text{O}_3$ ) baseia-se na sua principal função: proteger a matéria viva na Terra dos efeitos prejudiciais dos raios solares ultravioleta. A absorção da radiação ultravioleta pelo ozônio estratosférico é intensa o suficiente para eliminar boa parte da fração de ultravioleta que é prejudicial à vida.

A finalidade da utilização dos gases isobutano, butano e propano neste aerossol é

- A) Substituir o CFC, pois não reagem com o ozônio, servindo como gases propelentes em aerossóis.
- B) Servir como propelentes, pois, como são muito reativos, capturam o Freon existente livre na atmosfera, impedindo a destruição do ozônio.
- C) Reagir com o ar, pois se decompõem espontaneamente em dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), que não atacam o ozônio.
- D) Impedir a destruição do ozônio pelo CFC, pois os hidrocarbonetos gasosos reagem com a radiação UV, liberando hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), que reage com o oxigênio do ar ( $\text{O}_2$ ), formando água ( $\text{H}_2\text{O}$ ).
- E) Destruir o CFC, pois reagem com a radiação UV, liberando carbono (C), que reage com o oxigênio do ar ( $\text{O}_2$ ), formando dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que é inofensivo para a camada de ozônio.

### RESPOSTA COMENTADA

Os gases butano, isobutano e propano são hidrocarbonetos que contêm apenas ligações covalentes simples em sua cadeia, o que os caracteriza enquanto alcanos.



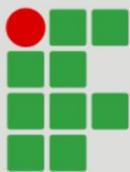
**Figura 22:** Estrutura do butano, isobutano e propano. Destaque para a ausência de ligações duplas ou triplas.

Estas ligações simples são muito estáveis e, conseqüentemente, difíceis de serem quebradas, o que garante ao alcano uma baixa reatividade.

Assim, enquanto os clorofluorocarbonos reagem facilmente com a luz UV para gerar radicais livres que destroem as moléculas de ozônio, os hidrocarbonetos são resistentes a este tipo de radiação. Na presença de luz UV não há reação dos alcanos para gerar radicais livres, logo, as moléculas de ozônio são preservadas. Portanto, a **alternativa A** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

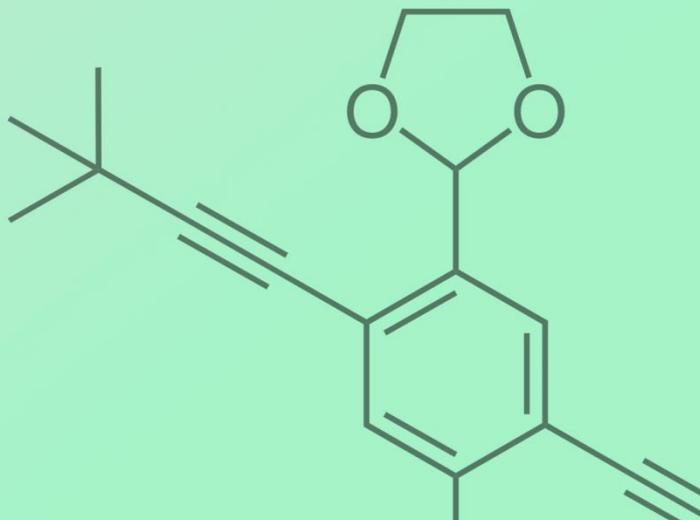


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Hidrocarbonetos como fonte de energia*



## 5-HIDROCARBONETOS COMO FONTE DE ENERGIA

### ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 49 - CADERNO AZUL

O potencial brasileiro para transformar lixo em energia permanece subutilizado — apenas pequena parte dos resíduos brasileiros é utilizada para gerar energia. Contudo, bons exemplos são os aterros sanitários, que utilizam a principal fonte de energia ali produzida. Alguns aterros vendem créditos de carbono com base no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Kyoto.

Essa fonte de energia subutilizada, citada no texto, é o

- A) etanol, obtido a partir da decomposição da matéria orgânica por bactérias.
- B) gás natural, formado pela ação de fungos decompositores da matéria orgânica.
- C) óleo de xisto, obtido pela decomposição da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbias.
- D) gás metano, obtido pela atividade de bactérias anaeróbias na decomposição da matéria orgânica.
- E) gás liquefeito de petróleo, obtido pela decomposição de vegetais presentes nos restos de comida.

### RESPOSTA COMENTADA

Os aterros sanitários, como o próprio nome sugere, são locais projetados para o descarte de resíduos sólidos produzidos a partir da atividade humana na natureza, sendo, em sua maioria, matéria orgânica. Como nos aterros há baixa oxigenação, a decomposição da matéria orgânica acontece graças à ação de bactérias anaeróbicas, gerando, no processo, o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), um hidrocarboneto. Assim como a maioria dos hidrocarbonetos, o metano é um composto altamente inflamável e, por isso, é uma excelente fonte de energia, podendo ser utilizado como combustível. Portanto, a **alternativa D** está correta.

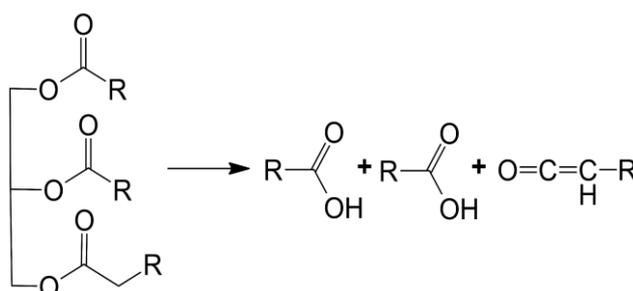


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 124 - CADERNO AZUL

O petróleo é uma fonte de energia de baixo custo e de larga utilização como matéria-prima para uma grande variedade de produtos. É um óleo formado de várias substâncias de origem orgânica, em sua maioria hidrocarbonetos de diferentes massas molares.

São utilizadas técnicas de separação para obtenção dos componentes comercializáveis do petróleo. Além disso, para aumentar a quantidade de frações comercializáveis, otimizando o produto de origem fóssil, utiliza-se o processo de craqueamento.



O que ocorre nesse processo?

- A) Transformação das frações do petróleo em outras moléculas menores.
- B) Reação de óxido-redução com transferência de elétrons entre as moléculas.
- C) Solubilização das frações do petróleo com a utilização de diferentes solventes.
- D) Decantação das moléculas com diferentes massas molares pelo uso de centrífugas.
- E) Separação dos diferentes componentes do petróleo em função de suas temperaturas de ebulição.

### RESPOSTA COMENTADA

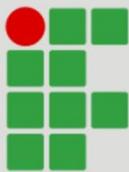
O petróleo é uma mistura complexa de substâncias químicas formado, principalmente, por hidrocarbonetos. O petróleo bruto extraído da natureza não tem utilidade prática. Porém, quando é fracionado, através da destilação fracionada, é possível separá-lo em grupos de misturas menores. A diferença entre essas diferentes frações obtidas é a massa molar que irá variar de acordo com a quantidade de carbonos presente nos hidrocarbonetos. Ainda assim, não é possível obter substâncias puras a partir desse processo, já que algumas apresentam valores de temperatura de ebulição muito próximos, o que não permite a separação completa.

Para conseguir obter as substâncias puras dessas frações desenvolveu-se um processo químico denominado *cracking* do petróleo. A palavra, em inglês, *cracking* significa “rompimento, quebra ou divisão” e consiste na quebra de moléculas complexas e grandes, como os hidrocarbonetos presentes no petróleo, em frações menores, mais simples.

Portanto, a **alternativa A** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.



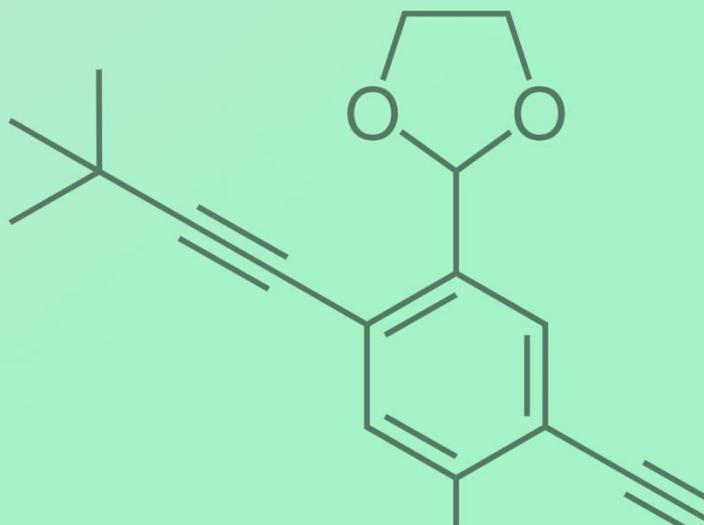
**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro



# *Nomenclatura*



## 6-NOMENCLATURA

### ENEM 2012 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 85 - CADERNO BRANCO

Motores a combustão interna apresentam melhor rendimento quando podem ser adotadas taxas de compressão mais altas nas suas câmaras de combustão, sem que o combustível sofra ignição espontânea. Combustíveis com maiores índices de resistência à compressão, ou seja, maior octanagem, estão associados a compostos com cadeias carbônicas menores, com maior número de ramificações e com ramificações mais afastadas das extremidades da cadeia. Adota-se como valor padrão de 100% de octanagem o isômero do octano mais resistente à compressão.

Com base nas informações do texto, qual dentre os isômeros seguintes seria esse composto?

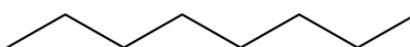
- A) n-octano.
- B) 2,4-dimetil-hexano.
- C) 2-metil-heptano.
- D) 2,5-dimetil-hexano.
- E) 2,2,4-trimetilpentano.

### RESPOSTA COMENTADA

Os combustíveis com maior octanagem estão associados a compostos com:

- menores cadeias carbônicas;
- maior número de ramificações;
- ramificações mais afastadas das extremidades da cadeia.

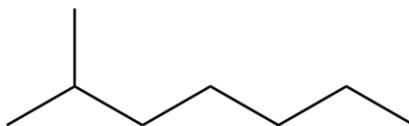
Para responder à questão, vamos analisar a fórmula estrutural dos cinco isômeros possíveis colocando os compostos em ordem crescente de resistência à compressão:



n-octano

**Figura 23:** Fórmula estrutural do n-octano.

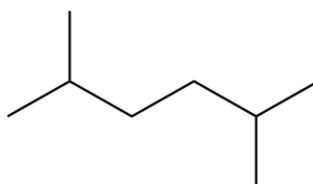
- 1) **n-octano (A)**: tem a maior cadeia carbônica (8 carbonos) e não possui ramificações;



2-metil-heptano

**Figura 24:** Fórmula estrutural do 2-metil-heptano.

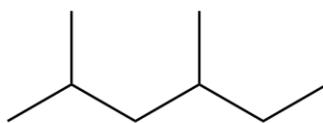
- 2) **2-metil-heptano (C)**: tem a segunda maior cadeia carbônica (7 carbonos) e apenas uma ramificação;



2,5-dimetil-hexano

**Figura 25:** Fórmula estrutural do 2,5-dimetil-hexano.

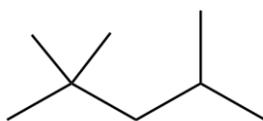
- 3) **2,5-dimetil-hexano (D)**: tem cadeia carbônica menor (6 carbonos) e duas ramificações, as duas ramificações estão bem próximas das extremidades da cadeia.



2,4-dimetil-hexano

**Figura 26:** Fórmula estrutural do 2,4-dimetil-hexano.

- 4) **2,4-dimetil-hexano (B)**: tem cadeia carbônica menor (6 carbonos) e duas ramificações, uma das ramificações está mais afastada da extremidade da cadeia.



2,2,4-trimetilpentano

**Figura 27:** Fórmula estrutural do 2,2,4-trimetilpentano.

5) **2,2,4-trimetilpentano (E)**: tem a menor cadeia carbônica entre os isômeros (5 carbonos) e o maior número de ramificações (3 no total), apesar das ramificações estarem mais afastadas da extremidade da cadeia.

Portanto, por ser a molécula que melhor atende a dois dos três requisitos desejáveis ao isômero do octano mais resistente à compressão, o 2,2,4-trimetilpentano seria a molécula de maior índice de octanagem. **Alternativa E.**

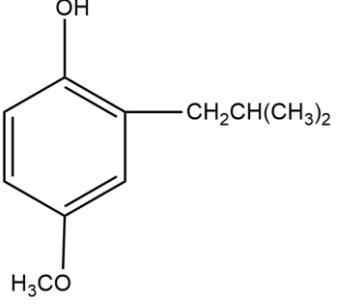
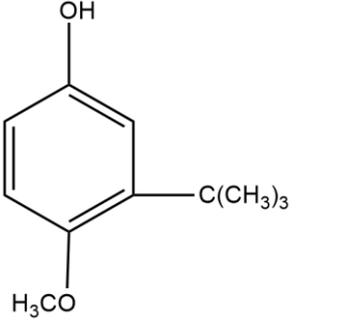
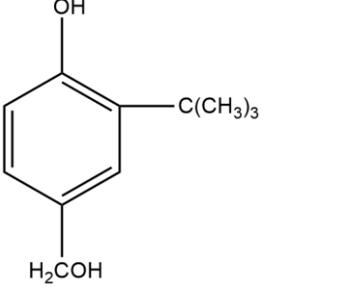
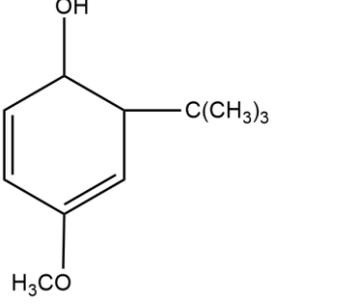
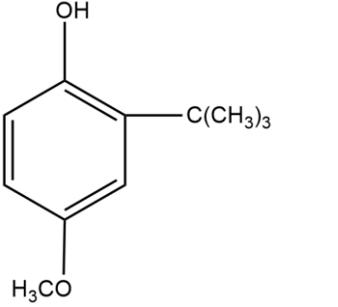


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

#### ENEM 2019 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 98 - CADERNO AZUL

O 2-BHA é um fenol usado como antioxidante para retardar a rancificação em alimentos e cosméticos que contêm ácidos graxos insaturados. Esse composto caracteriza-se por apresentar uma cadeia carbônica aromática mononuclear, apresentando o grupo substituinte *terc*-butil na posição *orto* e o grupo metóxi na posição *para*.

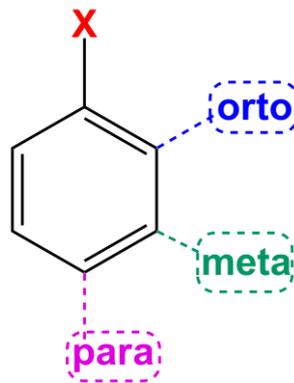
A fórmula estrutural do fenol descrito é

A)	
B)	
C)	
D)	
E)	

## RESPOSTA COMENTADA

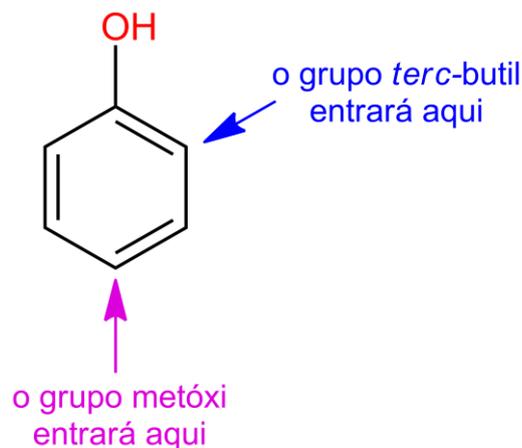
Segundo as informações disponibilizadas na questão, o 2-BHA é um composto mononuclear aromático, ou seja, apresenta em sua estrutura um único anel aromático (anel benzênico).

Para os anéis aromáticos substituídos como o 2-BHA, existe uma nomenclatura específica para localização dos substituintes. Tomando como referência o primeiro substituinte, *x*, a posição imediatamente adjacente a ele é chamada de “*orto*”, a posição seguinte é denominada “*meta*”, e próxima posição é chamada de “*para*”.



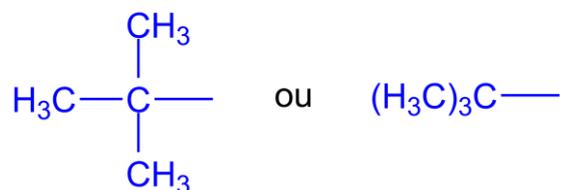
**Figura 28:** Representação dos grupos dirigentes *orto*, *meta* e *para* no anel aromático.

Seguindo esse parâmetro, tomaremos a hidroxila fenólica (Ar-OH) do 2-BHA como grupo substituinte de referência. Na posição *orto* iremos adicionar uma ramificação *terc*-butil, e na posição *para* uma ramificação metóxi.



**Figura 29:** Representação da hidroxila fenólica indicando a posição de entrada dos respectivos grupos *terc*-butil e metóxi.

Na ramificação *terc*-butil, nós temos uma estrutura com quatro átomos de carbonos (butil) e o prefixo *terc* indica que a valência da ramificação está situada no carbono terciário. Abaixo nós ilustramos a fórmula estrutural da ramificação na fórmula de linhas e na forma condensada:



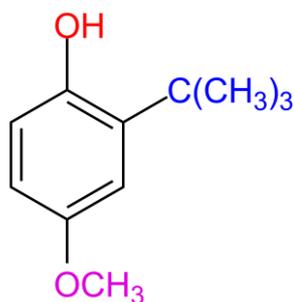
**Figura 30:** Estruturas dos substituintes *terc*-butil.

Já ao grupo metóxi, constitui um radical com um grupo metila ( $\text{CH}_3$ ) ligado a um átomo de oxigênio, como mostramos a seguir:



**Figura 31:** Estrutura do grupo dirigente metóxi.

Desse modo, o 2-BHA deve ter a seguinte estrutura:

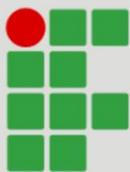


**Figura 32:** Molécula do 2-BHA com destaque aos seus grupos dirigentes metóxi e *terc*-butil.

Portanto, a **alternativa E** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

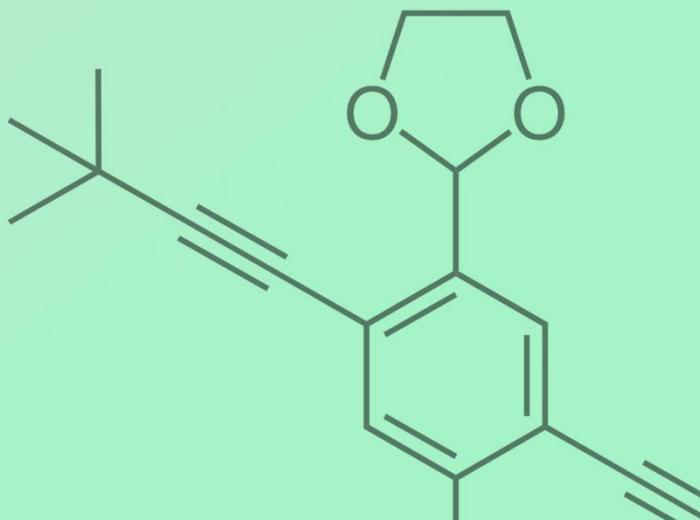


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Identificação de grupos funcionais*



## 7-IDENTIFICAÇÃO DE GRUPOS FUNCIONAIS

### ENEM 2010 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 80 - CADERNO AZUL

Os pesticidas modernos são divididos em várias classes, entre as quais se destacam os organofosforados, materiais que apresentam efeito tóxico agudo para os seres humanos. Esses pesticidas contêm um átomo central de fósforo ao qual estão ligados outros átomos ou grupo de átomos como oxigênio, enxofre, grupos metoxi ou etoxi, ou um radical orgânico de cadeia longa. Os organofosforados são divididos em três subclasses: Tipo A, na qual o enxofre não se incorpora na molécula; Tipo B, na qual o oxigênio, que faz dupla ligação com fósforo, é substituído pelo enxofre; e Tipo C, no qual dois oxigênios são substituídos por enxofre.

Um exemplo de pesticida organofosforado Tipo B, que apresenta grupo etoxi em sua fórmula estrutural, está representado em:

A)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{O}-\text{CH}_3 \end{array}$
B)	$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{O}-\text{CH}_3 \end{array}$
C)	$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{R}-\text{S}-\text{P}-\text{O}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{O}-\text{CH}_3 \end{array}$
D)	$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{H}_2\text{N}-\text{P}-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_3\text{CO} \end{array}$ $\text{O}=\text{COCH}(\text{CH}_3)_2$
E)	$\begin{array}{c} \text{S} \\    \\ \text{O}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{P}-\text{OCH}_2\text{CH}_3 \\   \\ \text{OCH}_2\text{CH}_3 \end{array}$

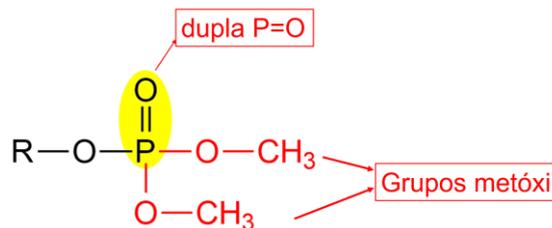
## RESPOSTA COMENTADA

As características gerais dos organofosforados são:

- presença de um átomo central de fósforo (P) ligado a:
  - átomo de oxigênio (-P=O);
  - átomo de enxofre (-P=S);
  - grupos metóxi (-P-OCH<sub>3</sub>) ou etóxi (-P-OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>);
  - radical orgânico de cadeia longa (-P-R);

De acordo com o texto, em uma molécula do organofosforado do TIPO B, temos a substituição do grupo P=O, pelo grupo P=S. Devemos encontrar, portanto, um organofosforado deste tipo que inclui ainda um grupo etóxi (-O-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>) em sua estrutura. Analisaremos agora cada uma das moléculas propostas para verificar qual delas apresenta as características mencionadas.

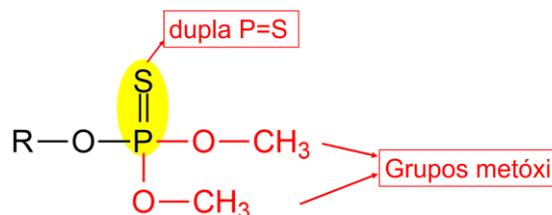
Molécula (A):



**Figura 33:** Formula estrutural molécula A destacando os grupos funcionais metóxi e a insaturação P=O.

Não possui átomo de enxofre e não apresenta grupo etóxi. É um organofosforado do Tipo A. Assim, a alternativa está incorreta.

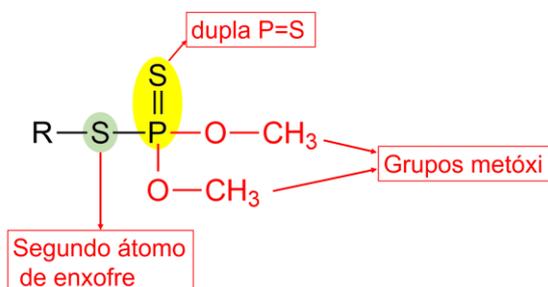
Molécula (B):



**Figura 34:** Estrutura da molécula B destacando os grupos metóxi e a insaturação P=S.

Essa molécula possui átomo de enxofre fazendo ligação dupla com o átomo de fósforo. É um organofosforado do Tipo B. Porém, não apresenta grupo etóxi em sua estrutura. Logo, a alternativa está incorreta.

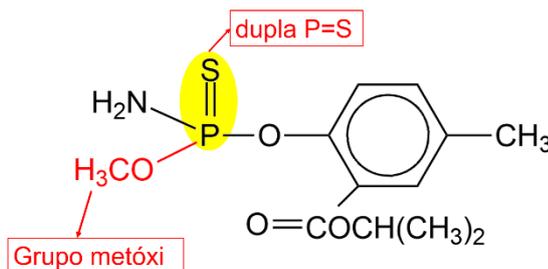
Molécula (C):



**Figura 35:** Estrutura da molécula C destacando os grupos metóxi, a insaturação P=S e o segundo átomo de enxofre.

Nessa molécula, dois oxigênios foram substituídos por átomos de enxofre e temos a presença de dois grupos metóxi. Assim, é um organofosforado do Tipo C.

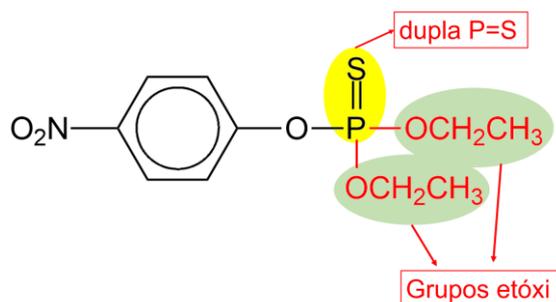
Molécula (D):



**Figura 36:** Estrutura da molécula C destacando a insaturação P=S e o grupo metóxi.

Possui átomo de enxofre fazendo ligação dupla com o átomo de fósforo. É um organofosforado do Tipo B. Porém, não apresenta grupo etóxi. Assim, a alternativa está incorreta.

Molécula (E):



**Figura 37:** Estrutura da molécula E com destaque aos grupos etóxi e a insaturação P=S.

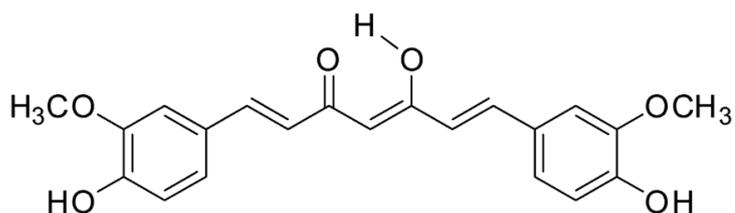
Possui átomo de enxofre fazendo ligação dupla com o átomo de fósforo. É um organofosforado do Tipo B. E por fim, contém um grupo etóxi. Portanto, a alternativa correta segundo as características solicitadas é a **alternativa E**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2010 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 80 - CADERNO AZUL

A curcumina, substância encontrada no pó amarelo-alaranjado extraído da raiz da curcuma ou açafrão-da índia (*Curcuma longa*), aparentemente, pode ajudar a combater vários tipos de câncer, o mal de *Parkinson* e o de *Alzheimer* e até mesmo retardar o envelhecimento. Usada há quatro milênios por algumas culturas orientais, apenas nos últimos anos passou a ser investigada pela ciência ocidental.



ANTUNES, M. G. L. Neurotoxicidade induzida pelo quimioterápico cisplatina: possíveis efeitos citoprotetores dos antioxidantes da dieta curcumina e coenzima Q10. *Pesquisa Fapesp*. São Paulo, n. 168, fev. 2010.

Na estrutura da curcumina, identificam-se grupos característicos das funções

- A) éter e álcool.
- B) éter e fenol.
- C) éster e fenol.
- D) aldeído e enol.
- E) aldeído e éster.

### RESPOSTA COMENTADA

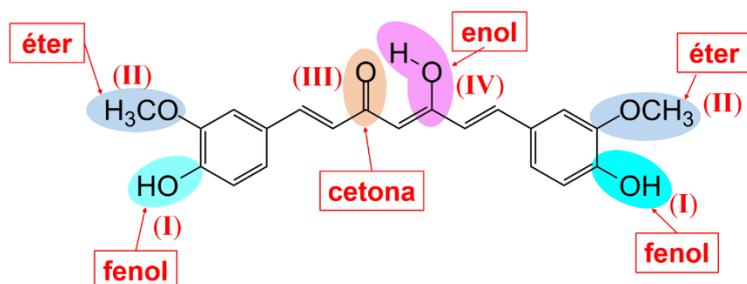
Analisando a estrutura da curcumina, temos dois grupos hidroxila ligados diretamente a anéis aromáticos a (Ar-OH), o que caracteriza a função orgânica fenol (I).

Além disso, percebe-se a existência de átomos de oxigênio entre átomos de carbono (R-O-R'), característica da função éter (II).

Também temos na cadeia carbônica, uma carbonila (C=O) entre dois átomos de carbono, caracterizando uma função do tipo cetona(III).

Por fim, existe um grupo hidroxila (-OH) ligado a um carbono insaturado, característico da função enol (IV).

Abaixo destacamos os grupos funcionais citados:



**Figura 38:** Estrutura da curcumina evidenciando suas respectivas funções orgânicas.

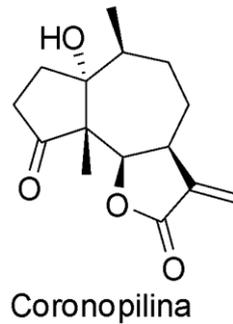
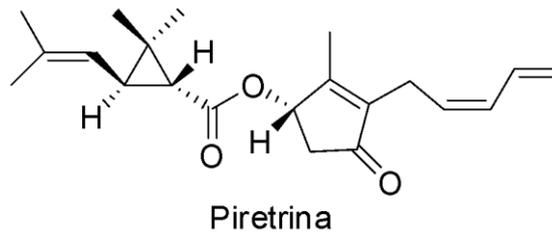
Portanto, a alternativa que apresenta as funções corretas é a **alternativa B**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 49 - CADERNO AZUL

A produção mundial de alimentos poderia se reduzir a 40% da atual sem a aplicação de controle sobre as pragas agrícolas. Por outro lado, o uso frequente dos agrotóxicos pode causar contaminação em solos, águas superficiais e subterrâneas, atmosfera e alimentos. Os biopesticidas, tais como a piretrina e a coronopilina, têm sido uma alternativa na diminuição dos prejuízos econômicos, sociais e ambientais gerados pelos agrotóxicos.



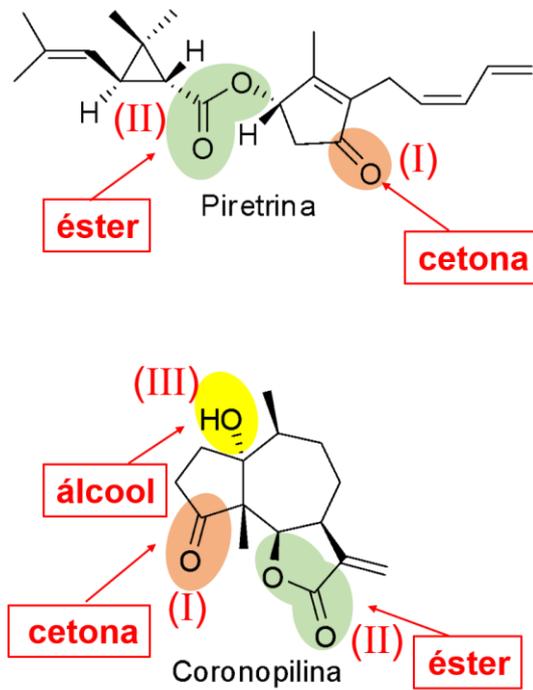
Identifique as funções orgânicas presentes simultaneamente nas estruturas dos dois biopesticidas apresentados:

- A) Éter e éster.
- B) Cetona e éster.
- C) Álcool e cetona.
- D) Aldeído e cetona.
- E) Éter e ácido carboxílico.

### RESPOSTA COMENTADA

A Piretrina possui os grupos funcionais éster e cetona em sua estrutura. Já a Coronopilina possui como grupos funcionais cetona, éster e um álcool.

Na figura seguinte nós destacamos esses grupos funcionais e após, explicamos as características de cada um deles:



**Figura 39:** Funções orgânicas oxigenadas das estruturas da Piretrina e Coronopilina.

A função orgânica cetona(I) é caracterizada pela presença de um grupo carbonila (C=O) entre dois átomos de carbono e a função éster(II) é marcada pela presença de uma carboxila (CO-O) entre dois átomos de carbono.

O álcool(III), presente apenas na Coronopilina, é caracterizado pela presença de um grupo hidroxila (OH) ligado a um carbono saturado.

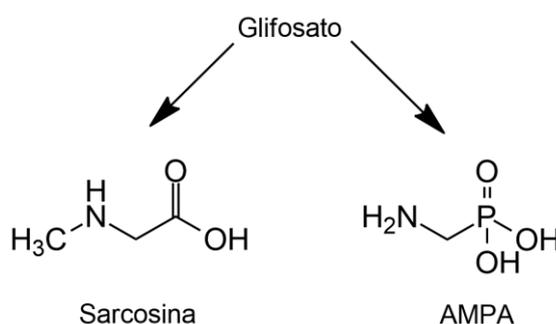
Portanto, as funções orgânicas presentes ao mesmo tempo nas estruturas dos dois biopesticidas são: éster e cetona. **Alternativa B.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

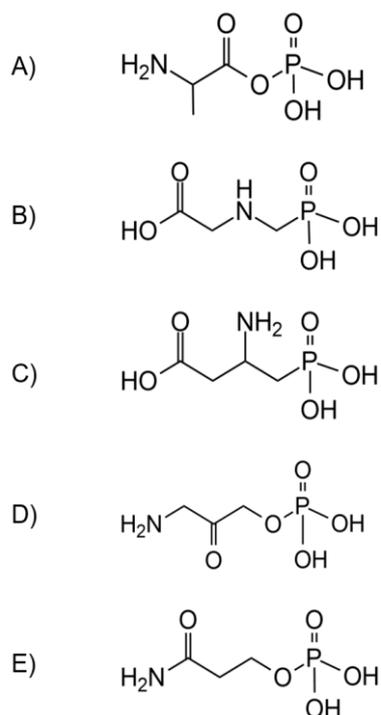
### ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 68 - CADERNO AZUL

O glifosato ( $C_3H_8NO_5P$ ) é um herbicida pertencente ao grupo químico das glicinas, classificado como não seletivo. Esse composto possui os grupos funcionais carboxilato, amino e fosfonato. A degradação do glifosato no solo é muito rápida e realizada por grande variedade de microrganismos, que usam o produto como fonte de energia e fósforo. Os produtos da degradação são o ácido aminometilfosfônico (AMPA) e o N-metilglicina (sarcosina):



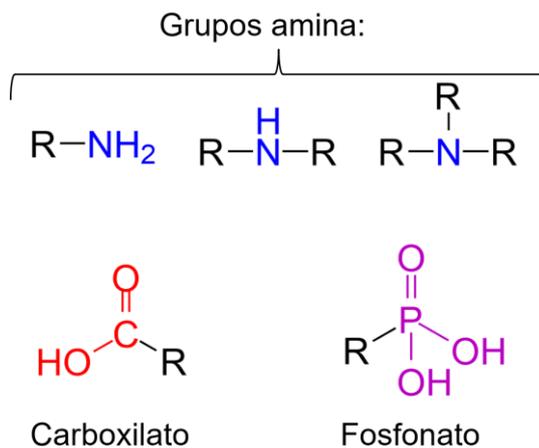
AMARANTE JR., O. P. et al. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, n. 3, 2002 (adaptado).

A partir do texto e dos produtos de degradação apresentados, a estrutura química que representa o glifosato é:



### RESPOSTA COMENTADA

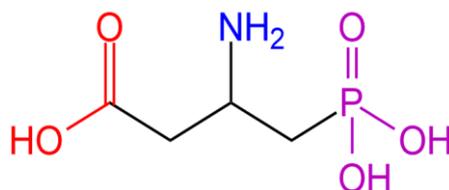
Essa questão envolve o reconhecimento de grupos funcionais. A questão traz as moléculas da Sarcosina e da AMPA e diz que ambas são formadas a partir da degradação de um composto único. Este composto tem fórmula molecular  $C_3H_8NO_5P$  e, além disso, tem em sua composição os grupos carboxilato ( $R-COOH$ ), amino [ $R-NH_2$ ,  $R-NH-R'$  ou  $R-N-(R'')R'$ ] e fosfonato [ $-PO-(OH)_2$ ], os quais podemos observar melhor nas representações abaixo:



**Figura 40:** Grupos funcionais que constituem as moléculas de Sarcosina e AMPA.

As estruturas moleculares apresentadas nas alternativas A, D e E não apresentam o grupo carboxilato, portanto estão incorretas.

Na molécula da alternativa C, os grupos requeridos estão presentes. Porém, a estrutura não possui a mesma fórmula molecular do glifosato, como mostramos abaixo:

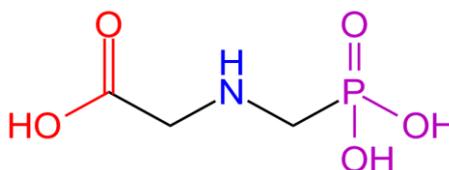


Fórmula molecular:  $C_4H_{10}NO_5P$

Glifosato:  $C_3H_8NO_5P$

**Figura 41:** Fórmula estrutural da molécula indicando grupos funcionais, e comparação de sua fórmula molecular com a do glifosato.

Deste modo, a alternativa que apresenta uma molécula que atende aos requisitos do enunciado é a letra B. Abaixo destacamos a presença dos grupos carboxilato, amino e fosfonato e a fórmula molecular da estrutura, que corresponde à fórmula do glifosato:



Glifosato:  $C_3H_8NO_5P$

**Figura 42:** Fórmula estrutural do Glifosato com destaque para seus grupos funcionais.

Portanto, a **alternativa B** é a correta.

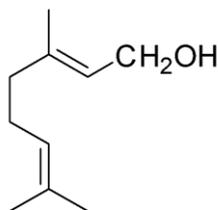


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

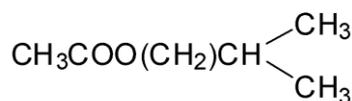
### ENEM 2015 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 59 - CADERNO AZUL

Uma forma de organização de um sistema biológico é a presença de sinais diversos utilizados pelos indivíduos para se comunicarem. No caso das abelhas da espécie *Apis mellifera*, os sinais utilizados podem ser feromônios.

Para saírem e voltarem de suas colmeias, usam um feromônio que indica a trilha percorrida por elas (Composto A). Quando pressentem o perigo, expelem um feromônio de alarme (Composto B), que serve de sinal para um combate coletivo. O que diferencia cada um desses sinais utilizados pelas abelhas são as estruturas e funções orgânicas dos feromônios



**Composto A**



**Composto B**

QUADROS, A. L. Os feromônios e o ensino de química. *Química Nova na Escola*, n. 7, maio de 1998 (adaptado).

As funções orgânicas que caracterizam os feromônios de trilha e de alarme são, respectivamente,

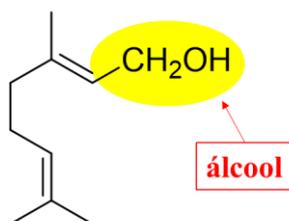
- A) álcool e éster.
- B) aldeído e cetona.
- C) éter e hidrocarboneto.
- D) enol e ácido carboxílico.
- E) ácido carboxílico e amida.

### RESPOSTA COMENTADA

Na molécula do feromônio de trilha (composto A) está presente a função orgânica álcool. Esta função é caracterizada pela presença de um grupo oxidrila, também conhecido como hidroxila (-OH), ligado diretamente a um carbono saturado.

A representação da molécula abaixo, destaca o grupo funcional.

**Composto A**



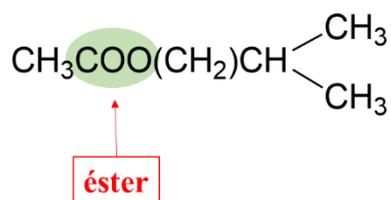
**Figura 43:** Composto A com destaque para a função álcool.

**Importante!** Caso a hidroxila estivesse ligada a um carbono alquílico insaturado, a função orgânica do composto seria enol.

Na molécula do feromônio de alarme (composto B) está presente a função orgânica éster (R-CO-O-R'). Este grupo é um derivado dos ácidos carboxílicos (R-CO-OH), onde o átomo de

hidrogênio é substituído por uma cadeia carbônica (R'). A representação abaixo, destaca o grupo funcional.

### Composto B



**Figura 44:** Composto B com destaque para o grupo funcional éster

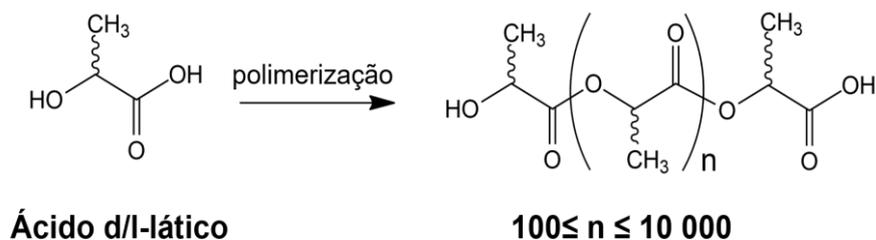
Assim, a alternativa que apresenta esses grupos funcionais é a **alternativa A**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2015 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 69 - CADERNO BRANCO

O poli(ácido láctico) ou PLA é um material de interesse tecnológico por ser um polímero biodegradável e bioabsorvível. O ácido láctico, um metabólito comum no organismo humano, é a matéria-prima para produção do PLA, de acordo com a equação química simplificada.



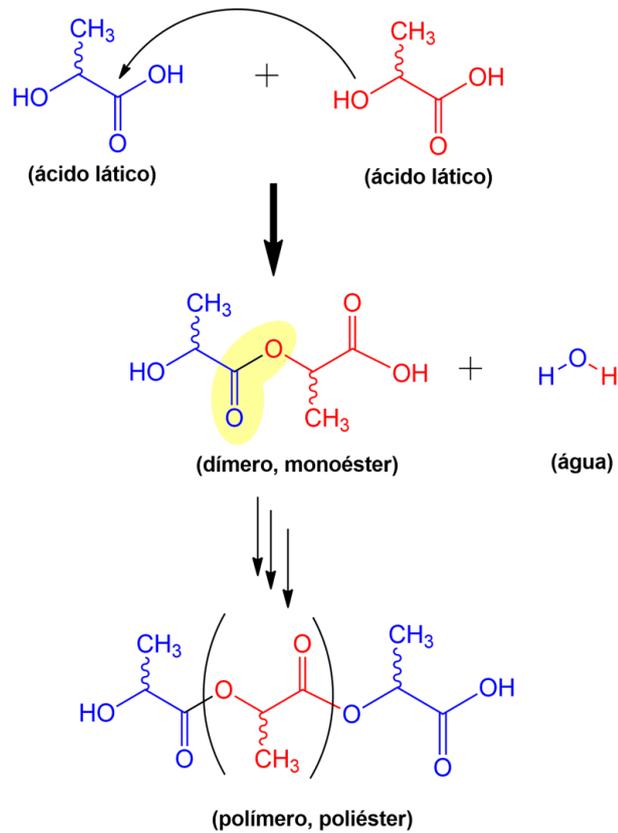
Que tipo de polímero de condensação é formado nessa reação?

- A) Poliéster.
- B) Polivinila.
- C) Poliamida.
- D) Poliuretana.
- E) Policarbonato.

### RESPOSTA COMENTADA

Na síntese dos polímeros de condensação, as macromoléculas são formadas a partir da união dos monômeros, ao passo que, uma molécula pequena, como a água, é eliminada como subproduto, durante o processo.

O ácido lático possui em sua cadeia os grupos funcionais ácido carboxílico (R-COOH) e álcool (R-OH). Quando submetido a uma reação de polimerização, o grupo ácido de uma molécula de ácido lático reage com a hidroxila alcoólica da outra molécula de ácido lático, essa reação leva a formação de um dímero (monoéster), como mostra o esquema abaixo.



**Figura 45:** Etapas de formação do polímero de condensação, do tipo poliéster, através da esterificação do ácido láctico.

É importante observar que a união entre as moléculas de ácido láctico se deu por reação de esterificação (reação entre ácido carboxílico e álcool) e água foi eliminada durante o processo. O dímero (monoéster) então formado, continuou reagindo sob as mesmas condições, até a produção do PLA (poliéster).

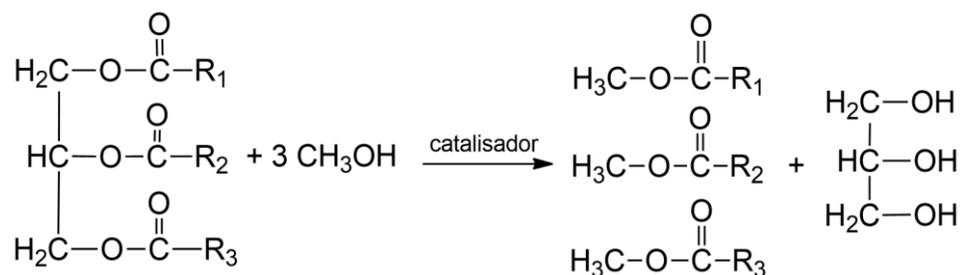
Desta forma o poli ácido láctico, PLA, pode ser classificado como um poliéster, como afirma a **alternativa A**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2017 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 114 - CADERNO AZUL

O biodiesel é um biocombustível obtido a partir de fontes renováveis, que surgiu como alternativa ao uso do diesel de petróleo para motores de combustão interna. Ele pode ser obtido pela reação entre triglicerídeos, presentes em óleos vegetais e gorduras animais, entre outros, e álcoois de baixa massa molar, como o metanol ou etanol, na presença de um catalisador, de acordo com a equação química:

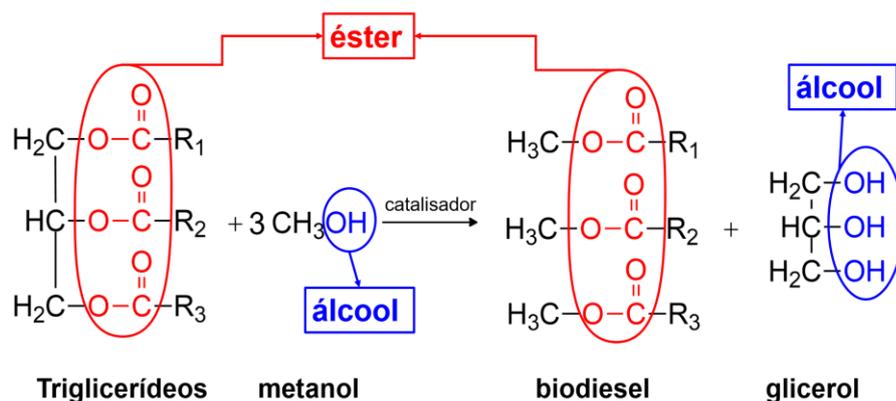


A função química presente no produto que representa o biodiesel

- A) éter
- B) éster
- C) álcool
- D) cetona
- E) ácido carboxílico

### RESPOSTA COMENTADA

O biodiesel é obtido a partir de uma reação denominada transesterificação. Nela, o triéster ou triglicerídeo  $[R_1-CO-O-CH_2-CH(O-CO-R_2)-CH_2-O-CO-R_3]$  reage com metanol ( $CH_3OH$ ) para formar o biodiesel, constituído por uma mistura de três novos ésteres metílicos ( $CH_3-O-CO-R_1$ ,  $CH_3-O-CO-R_2$  e  $CH_3-O-CO-R_3$ ). Um triálcool também é produzido no final do processo, como subproduto da reação ( $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$ , glicerol). Abaixo destacamos as funções orgânicas dos reagentes e produtos do processo de produção do biodiesel.

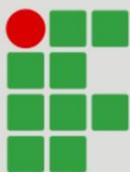


**Figura 46:** Esquema de produção do biodiesel. Destaque para os grupos funcionais dos reagentes e produtos.

Portanto, concluímos que a função química presente no produto que representa o biodiesel é o éster. **Alternativa B.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

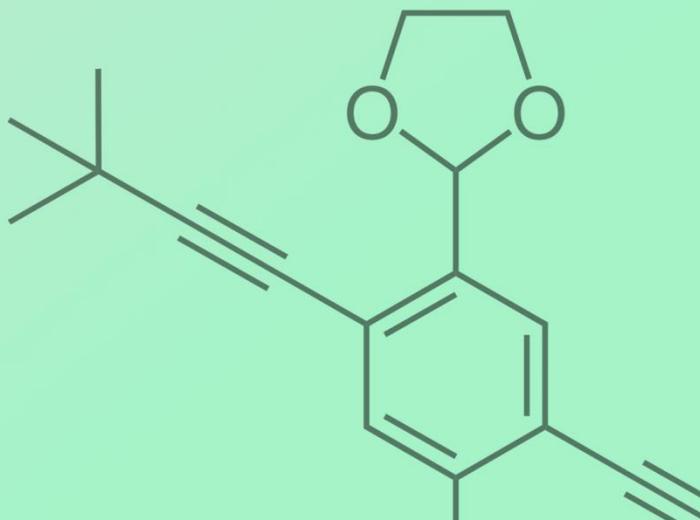


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Geometria dos átomos de carbono*

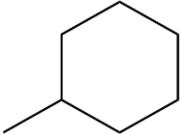
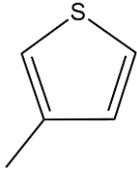
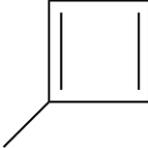
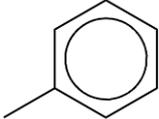
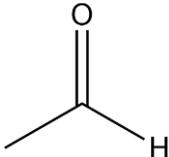


## 8-GEOMETRIA DOS ÁTOMOS DE CARBONO

### ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 65 - CADERNO AZUL

A forma das moléculas, como representadas no papel, nem sempre é planar. Em um determinado fármaco, a molécula contendo um grupo não planar é biologicamente ativa, enquanto moléculas contendo substituintes planares são inativas.

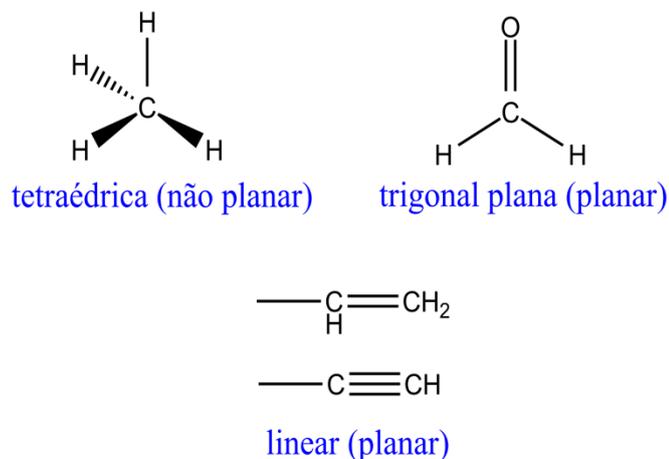
O grupo responsável pela bioatividade desse fármaco é

A)	
B)	
C)	
D)	
E)	

## RESPOSTA COMENTADA

Para responder a essa questão é preciso retomar os conhecimentos sobre geometria molecular. Apesar da maioria das moléculas que vemos em textos e atividades serem representadas de forma plana, não é necessariamente dessa maneira que elas ficam dispostas no espaço. A disposição dos ligantes ao redor de um átomo central é sempre aquela que garante o máximo afastamento dos ligantes e menor repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência.

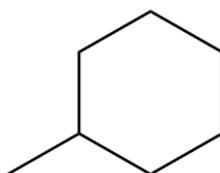
Átomos de carbono saturados (que fazem 4 ligações simples), por exemplo, não são planares, seus ligantes estarão dispostos no espaço tridimensional com uma geometria do tipo tetraédrica. Já os átomos de carbono que possuem pelo menos uma insaturação, vão apresentar geometria plana, do tipo linear ou triangular. Abaixo representamos essas geometrias:



**Figura 47:** Principais tipos de geometria molecular.

A partir dessas informações e sabendo que a presença de um grupo não-planar garante atividade biológica ao fármaco, devemos escolher, entre as alternativas, a que apresenta um grupo não-planar.

Na alternativa **A**), tem-se um grupo hexila. Neste grupo, todos os átomos de carbono são saturados, isto é, fazem 4 ligações simples. A geometria deles deve ser então do tipo tetraédrica, não plana. Assim, o grupo hexila, quando inserido no fármaco, deve conferir a este, atividade biológica.

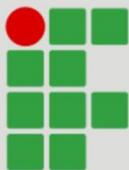


**Figura 48:** grupo hexila apresentado na alternativa A.

As moléculas das demais alternativas possuem apenas carbonos insaturados, ou seja, átomos de carbono com geometria plana. Portanto, a **alternativa A** é a correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.



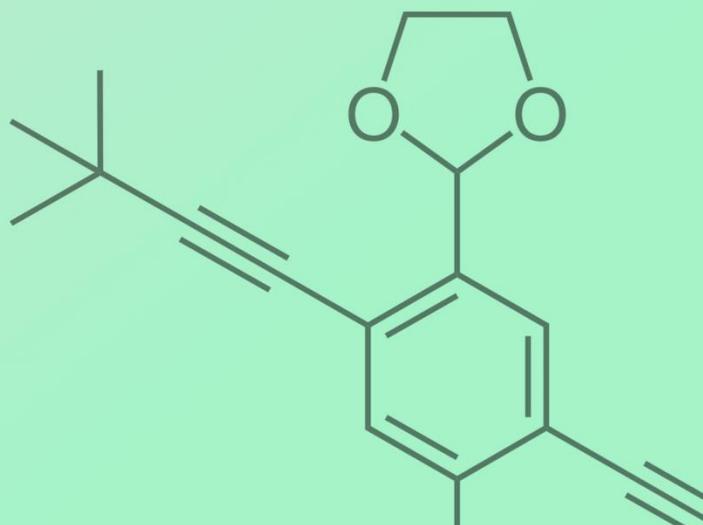
**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro



# *Polaridade*

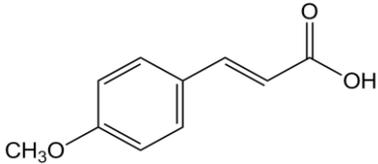
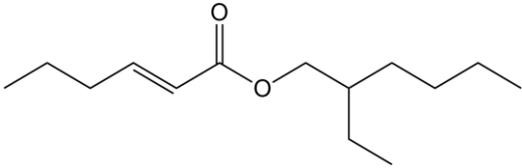
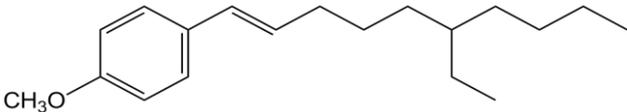
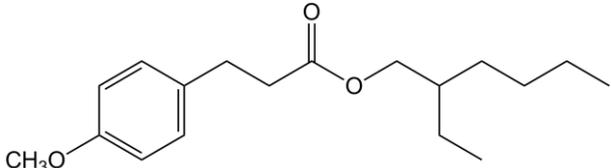
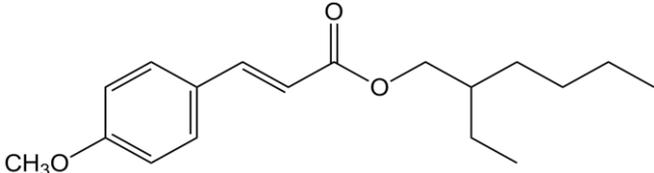


## 9-POLARIDADE

### ENEM 2009 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 36 - CADERNO AZUL

O uso de protetores solares em situações de grande exposição aos raios solares como, por exemplo, nas praias, é de grande importância para a saúde. As moléculas ativas de um protetor apresentam, usualmente, anéis aromáticos conjugados com grupos carbonila, pois esses sistemas são capazes de absorver a radiação ultravioleta mais nociva aos seres humanos. A conjugação é definida como a ocorrência de alternância entre ligações simples e duplas em uma molécula. Outra propriedade das moléculas em questão é apresentar, em uma de suas extremidades, uma parte apolar responsável por reduzir a solubilidade do composto em água, o que impede sua rápida remoção quando do contato com a água.

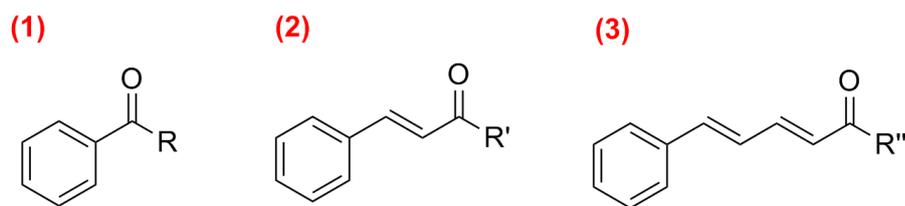
De acordo com as considerações do texto, qual das moléculas apresentadas a seguir é a mais adequada para funcionar como molécula ativa de protetores solares?

A)	
B)	
C)	
D)	
E)	

### RESPOSTA COMENTADA

A molécula mais adequada para funcionar como molécula ativa de protetores solares deve possuir uma carbonila conjugada com o anel aromático e uma parte apolar em uma de suas extremidades.

A conjugação se refere a alternância, ininterrupta, de ligações duplas e simples entre o anel aromático e o grupo carbonila. Abaixo, representamos modelos de sistemas conjugados entre esses dois grupos. Observe que em todos os modelos, existem apenas carbonos insaturados ( $sp^2$ ) entre o anel aromático e o grupo carbonila. É importante perceber que a existência de qualquer carbono saturado ( $sp^3$ ) entre o anel aromático e a carbonila, elimina a conjugação entre esses dois grupos.

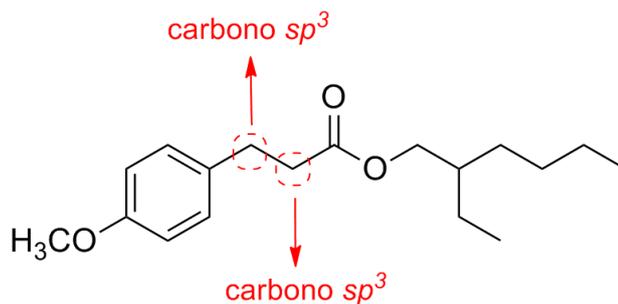


**Figura 49:** modelos de sistemas conjugados entre um anel aromático e um grupo carbonila.

A extremidade apolar é garantida pelo incremento de um grupo que possui baixa afinidade pela água. Um bom representante para este grupo, seria uma cadeia longa hidrocarbonada ou uma cadeia longa funcionalizada, porém com ausência de grupos de alta polaridade como ácidos carboxílicos (-COOH), álcoois (-OH) ou aminas (-NH<sub>2</sub>).

A partir destes conhecimentos é possível observar, entre as propostas, que a estrutura apresentada na alternativa B não possui anel aromático e a molécula representada na alternativa C não possui um grupo carbonila. Assim, já podemos eliminar ambas.

Enquanto isso, na proposta da alternativa D, o anel aromático não se encontra conjugado com a carbonila. Observe que existem 2 carbonos saturados ( $sp^3$ ) entre entre esses dois grupos, o que elimina a conjugação.

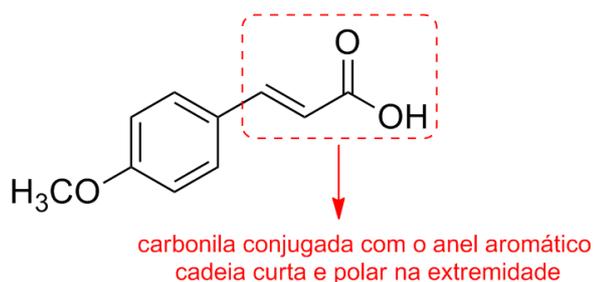


**Figura 50:** estrutura apresentada na alternativa D. Destaque para os carbonos  $sp^3$  localizados entre o anel aromático e a carbonila.

As estruturas de A e E possuem anéis aromáticos conjugados com o grupo carbonila. O que difere entre essas moléculas é a natureza físico-química de suas extremidades.

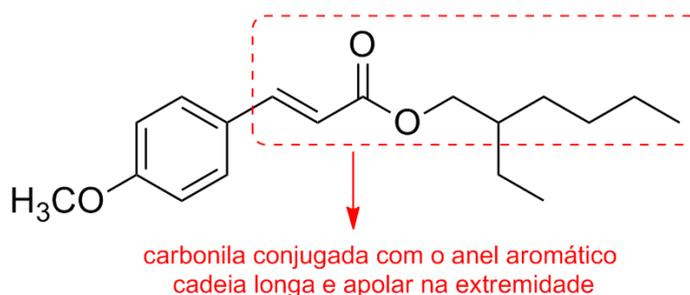
A molécula de A possui o grupo funcional ácido carboxílico, de cadeia curta, na extremidade de sua estrutura. Este grupo possui elevado caráter polar e deve contribuir para aumentar a

solubilidade deste composto em água. Isso deve tornar a molécula inadequada para uso em protetores solares. Veja abaixo:



**Figura 51:** estrutura apresentada na alternativa A. Destaque para a extremidade de cadeia curta e de caráter polar.

Já a molécula da alternativa E possui um grupo éster de cadeia longa, na extremidade de sua estrutura. Este grupo possui baixa polaridade e solubilidade em água reduzida, portanto apresenta as características necessárias de um bom princípio ativo para protetor solar.



**Figura 52:** estrutura apresentada na alternativa E. Destaque para a extremidade de cadeia longa e de caráter apolar.

Portanto, a **alternativa E** seria a correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 58 - CADERNO AZUL

A capacidade de limpeza e a eficiência de um sabão dependem de sua propriedade de formar micelas estáveis, que arrastam com facilidade as moléculas impregnadas no material a ser limpo. Tais micelas têm em sua estrutura partes capazes de interagir com substâncias polares, como a água, e partes que podem interagir com substâncias apolares, como as gorduras e os óleos.

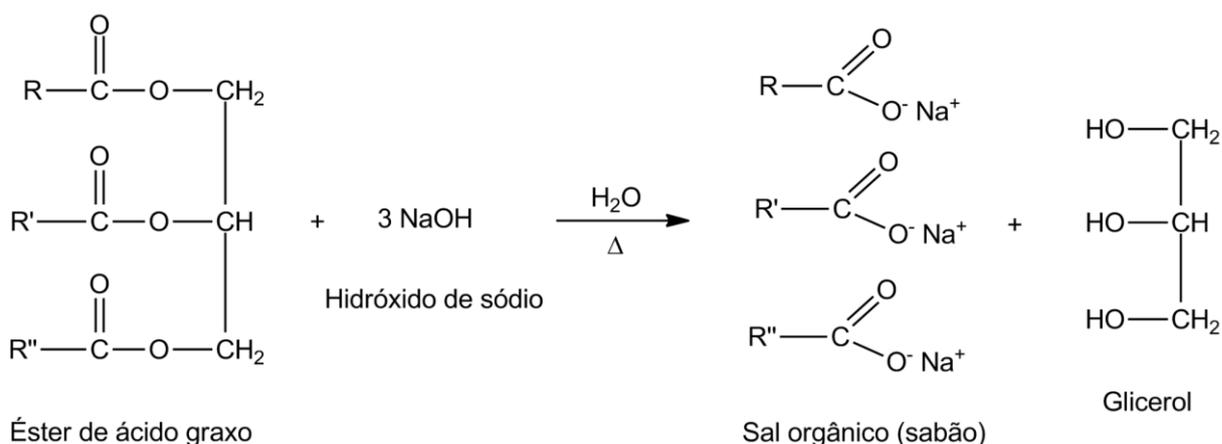
SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S. (Coords.). *Química e sociedade*. São Paulo: Nova Geração, 2005 (adaptado).

A substância capaz de formar as estruturas mencionadas é

- A)  $C_{18}H_{36}$ .
- B)  $C_{17}H_{33}COONa$ .
- C)  $CH_3CH_2COONa$ .
- D)  $CH_3CH_2CH_2COOH$ .
- E)  $CH_3CH_2CH_2CH_2OCH_2CH_2CH_2CH_3$ .

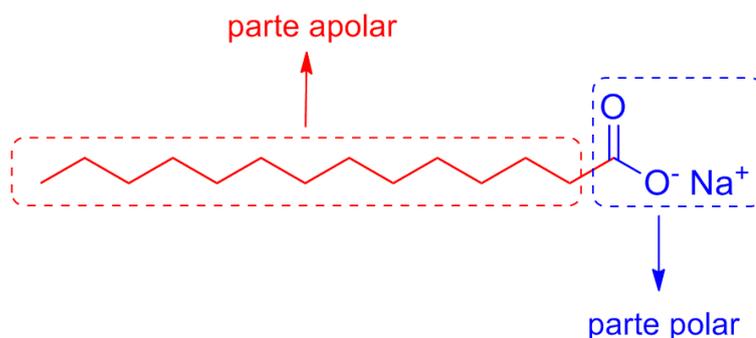
## RESPOSTA COMENTADA

O sabão é um sal orgânico proveniente da hidrólise básica de um éster de ácido graxo, como mostra o esquema abaixo:



**Figura 53:** processo de saponificação - reação do éster de ácido graxo com hidróxido de sódio (NaOH) para formação do sal orgânico (sabão) e glicerol.

Uma molécula de sabão eficiente deve possuir em sua estrutura uma parte polar para que possa interagir com a água, e uma outra parte apolar para que possa interagir com gorduras e óleos. Geralmente a parte apolar de uma molécula de sabão é constituída por uma longa cadeia hidrocarbônica (formada exclusivamente por átomos de carbono e hidrogênio) enquanto que a parte polar é constituída pelo ânion carboxilato. Observe a figura abaixo:

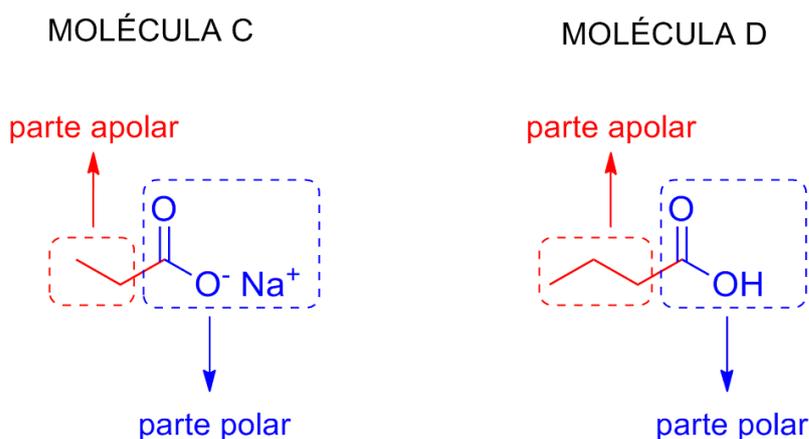


**Figura 54:** estrutura de uma molécula de sabão. Destaque para a longa cadeia apolar e a extremidade polar.

Partindo destas informações, já podemos escolher, entre as alternativas, a estrutura mais adequada para atuar como um sabão de alta eficiência.

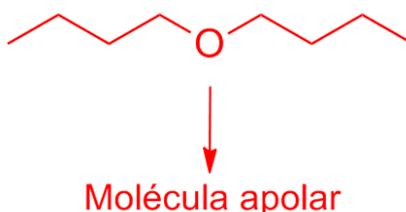
O composto apresentado em A, é um hidrocarboneto de caráter apolar. A ausência de uma parte polar nesta molécula, faz com que ela não seja uma alternativa viável para uso como sabão.

As estruturas presentes em C e D possuem uma parte polar e outra apolar. Porém, suas cadeias apolares são curtas e, portanto, essas moléculas não seriam as mais adequadas para atuar como sabão.



**Figura 55:** estrutura dos compostos C e D. Destaque para a cadeia apolar curta e a porção polar de cada molécula.

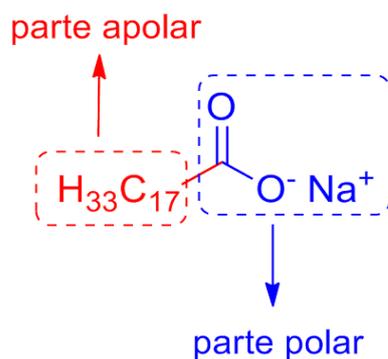
A molécula apresentada na alternativa E possui um grupo funcional éter e uma cadeia carbônica de tamanho médio. É um composto de elevado caráter apolar, onde não encontramos uma parte de elevado caráter polar. Portanto, esta molécula também não atuaria bem como sabão.



**Figura 56:** estrutura do composto E. A molécula não apresenta uma parte polar.

A molécula apresentada na alternativa B é um sal de ácido graxo. Ela possui uma cadeia hidrocarbônica longa (com 17 átomos de carbono!) de elevado caráter apolar, capaz de interagir com gorduras. Possui também uma parte iônica (ânion carboxilato, R-COO<sup>-</sup>) de

elevado caráter polar, capaz de interagir bem com a água. Portanto, esta molécula atuaria de forma eficaz, como sabão.

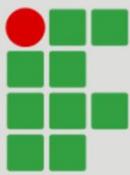


**Figura 57:** estrutura do composto B. Destaque para a longa cadeia apolar (17 átomos de carbono!) e para a parte iônica (polar).

Deste modo, temos que a **alternativa B** seria a resposta correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

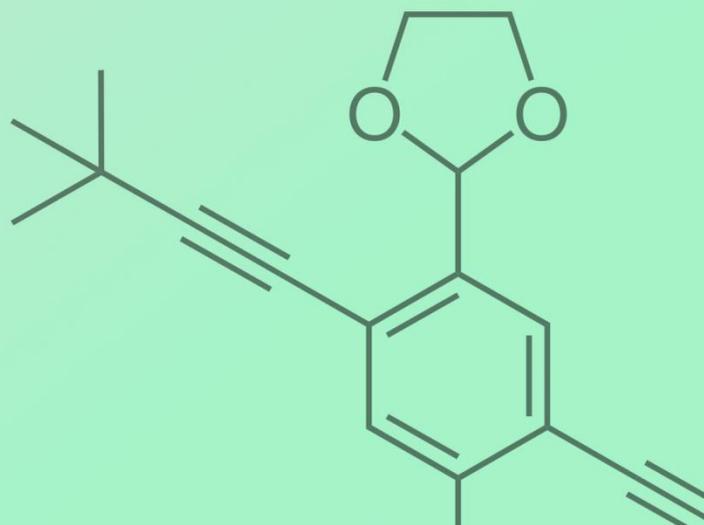


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

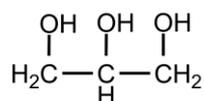
# *Forças intermoleculares*



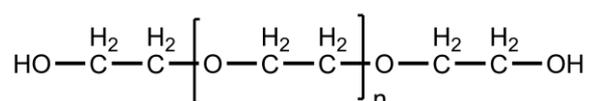
## 10-FORÇAS INTERMOLECULARES

### ENEM 2011 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 58 - CADERNO AZUL

A pele humana, quando está bem hidratada, adquire boa elasticidade e aspecto macio e suave. Em contrapartida, quando está ressecada, perde sua elasticidade e se apresenta opaca e áspera. Para evitar o ressecamento da pele é necessário, sempre que possível, utilizar hidratantes umectantes, feitos geralmente à base de glicerina e polietilenoglicol:



glicerina



polietilenoglicol

A retenção de água na superfície da pele promovida pelos hidratantes é consequência da interação dos grupos hidroxila dos agentes umectantes com a umidade contida no ambiente por meio de

- A) ligações iônicas.
- B) forças de London.
- C) ligações covalentes.
- D) forças dipolo-dipolo.
- E) ligações de hidrogênio.

### RESPOSTA COMENTADA

Ligações de hidrogênio são interações que ocorrem tipicamente entre moléculas que apresentam átomos de hidrogênio (H) que são mais eletropositivos e formam ligação com

átomos mais eletronegativos, como Flúor (F) Oxigênio (O) e Nitrogênio (N). Por formar dois pólos muito acentuados, essa ligação é o tipo de força intermolecular mais intensa.

A molécula de glicerina possui algumas hidroxilas (-OH) em sua estrutura, assim como a de polietilenoglicol possui átomos de oxigênio. Os oxigênios da glicerina se ligam com os hidrogênios presentes na molécula de polietilenoglicol e vice-versa, constituindo a ligação de hidrogênio descrita anteriormente.

Assim, a retenção de água da superfície deve-se pelas ligações de hidrogênio que se formam entre as hidroxilas presentes nos agentes umectantes (glicerina e polietilenoglicol) e a umidade do ambiente (água). Portanto, **alternativa E**.

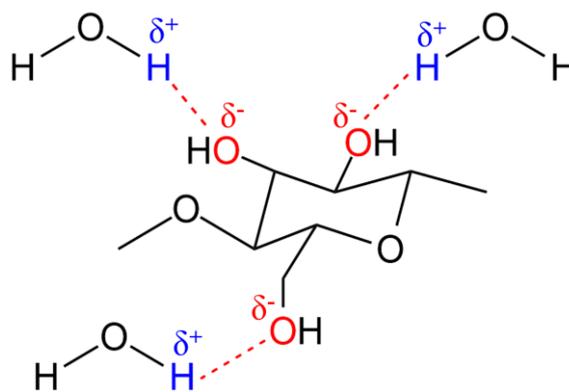


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 86 - CADERNO AZUL**

As fraldas descartáveis que contêm o polímero poliacrilato de sódio (1) são mais eficientes na retenção de água que as fraldas de pano convencionais, constituídas de fibras de celulose (2).



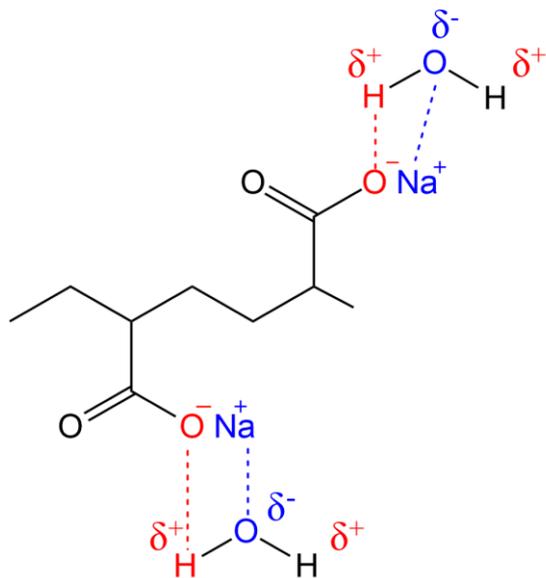


**Figura 58:** Monômero da celulose interagindo com as moléculas de água por meio das pontes de hidrogênio.

Essa interação é possível porque quando ligado a um átomo extremamente eletronegativo, como o oxigênio, o H adquire carga parcial positiva, gerando um dipolo permanente na molécula ( $\delta^+$ ) que é atraído pelo dipolo gerado pelo átomo de oxigênio ( $\delta^-$ ) da outra molécula.

Enquanto isso, as fraldas descartáveis são constituídas por um polímero de um sal de ácido carboxílico ( $R-COO^-Na^+$ ), o poliacrilato de sódio. Esse sal é um grupo inorgânico caracterizado pela presença de dois íons: um cátion ( $Na^+$ ) e um ânion ( $COO^-$ ).

Quando em contato com moléculas de água, o íon  $Na^+$  do poliacrilato de sódio, é atraído pelo pólo negativo ( $\delta^-$ ) da molécula de água. Já o ânion  $COO^-$  deste polímero, é atraído pelo pólo positivo ( $\delta^+$ ), da molécula de água. Esse tipo de interação denominada íon-dipolo.



**Figura 59:** interação íon-dipolo entre o dímero de poliacrilato de sódio e a água.

Nesse sentido, tanto as fraldas de poliacrilato de sódio quanto as de fibras de celulose apresentam elevada interação com as moléculas de água. Entretanto, as fraldas de poliacrilato de sódio se tornam mais eficientes na absorção da água, pois as interações íon-dipolo são mais fortes que as interações intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio. Isso se deve ao fato de que, na interação íon-dipolo a carga do íon é uma carga real, e não apenas uma polarização, o que acarreta em uma maior intensidade de atração pelas moléculas de água.

Por este motivo, as moléculas de poliacrilato devem interagir de maneira extremamente forte com moléculas de água e por esta razão tendem a ser mais eficazes que a celulose.

Portanto, a **alternativa E** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2014 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 75 - CADERNO BRANCO

Um método para determinação do teor de etanol na gasolina consiste em misturar volumes conhecidos de água e de gasolina em um frasco específico. Após agitar o frasco e aguardar um período de tempo, medem-se os volumes das duas fases imiscíveis que são obtidas: uma orgânica e outra aquosa. O etanol, antes miscível com a gasolina, encontra-se agora miscível com a água.

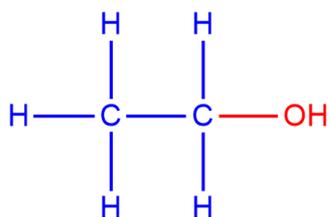
Para explicar o comportamento do etanol antes e depois da adição de água, é necessário conhecer

- A) a densidade dos líquidos.
- B) o tamanho das moléculas.
- C) o ponto de ebulição dos líquidos.
- D) os átomos presentes nas moléculas.
- E) o tipo de interação entre as moléculas.

## RESPOSTA COMENTADA

Para determinar o teor de etanol na gasolina foi realizado o chamado teste da proveta, muito utilizado na identificação de gasolina adulterada. Ao adicionar água ( $H_2O$ ) a uma mistura composta por etanol ( $C_2H_6O$ ) e gasolina ( $C_8H_{18}$ ), o etanol que antes estava misturado à gasolina passa a interagir com as moléculas de água. Forma-se então uma mistura heterogênea composta por uma fase orgânica (gasolina) e uma fase aquosa (etanol+água).

O fato descrito só acontece graças às características físico-químicas desses compostos. O etanol é um álcool que apresenta propriedades anfífilas em função de sua estrutura contar com uma parte apolar (formada pela cadeia hidrocarbônica) e uma parte polar (hidroxila, -OH). Veja a estrutura do etanol abaixo, na qual a parte apolar está destacada em azul e a parte polar em vermelho:



Etanol

**Figura 60:** estrutura molecular do etanol, destacando a parte polar e a parte apolar.

Dessa forma, o etanol consegue interagir tanto com as moléculas da gasolina (mistura de hidrocarbonetos, apolar), quanto com as moléculas de água (polar).

Porém, o que confere a capacidade das moléculas de água de “arrancar” as moléculas de etanol da gasolina, é a natureza e intensidade da nova força de atração intermolecular que se estabelece entre as duas substâncias.

O etanol interage com as moléculas de gasolina a partir de interações fracas do tipo dipolo induzido-dipolo instantâneo (forças de London). Quando se adiciona água, a mesma estabelece com as moléculas de etanol interações fortíssimas, do tipo ligações de hidrogênio. Uma vez que as ligações de hidrogênio são interações muito mais fortes que as interações dipolo-induzido, a água consegue arrastar o etanol da gasolina.

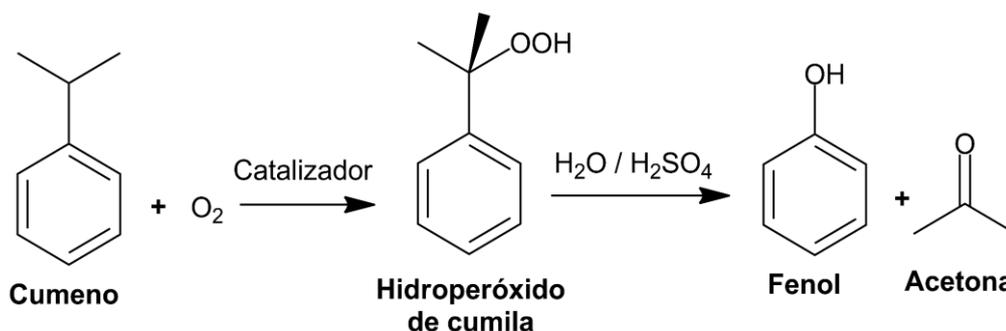
Portanto, o comportamento do etanol antes e após a adição de água pode ser explicado a partir das interações intermoleculares. **Alternativa E.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 80 - CADERNO AZUL

O principal processo industrial utilizado na produção de fenol é a oxidação do cumeno (isopropilbenzeno). A equação mostra que esse processo envolve a formação do hidroperóxido de cumila, que em seguida é decomposto em fenol e acetona, ambos usados na indústria química como precursores de moléculas mais complexas. Após o processo de síntese, esses dois insumos devem ser separados para comercialização individual.



Considerando as características físico-químicas dos dois insumos formados, o método utilizado para a separação da mistura, em escala industrial, é a

- A) filtração.
- B) ventilação.
- C) decantação.
- D) evaporação.
- E) destilação fracionada.

### RESPOSTA COMENTADA

O processo de oxidação do cumeno gera, enquanto produtos finais, propanona (acetona) e fenol. Ambas as substâncias possuem caráter polar e assim, a mistura resultante da junção desses dois compostos deve ser homogênea.

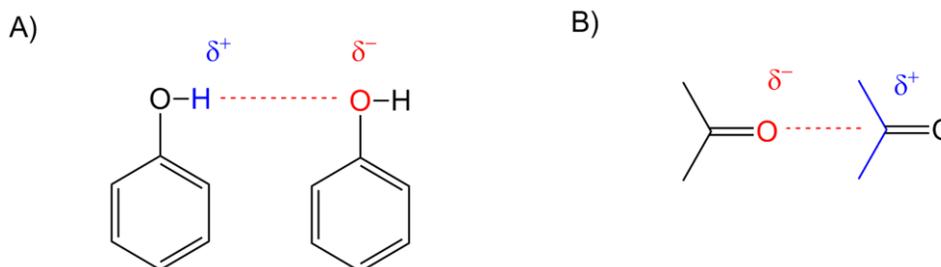
Neste sentido, analisamos que processos como a decantação, ventilação e filtração são inviáveis, já que são úteis apenas nas separações de misturas heterogêneas.

O processo de evaporação se torna inviável, já que com este método apenas um dos componentes da mistura é preservado (o menos volátil) enquanto o outro é perdido. Na questão é requisitada a obtenção de ambos os compostos.

De fato os componentes só podem ser separados por destilação fracionada. A destilação fracionada é um método de separação de misturas homogêneas que se baseia na diferença de temperatura de ebulição entre as substâncias. O fenol e a propanona devem apresentar diferentes temperaturas de ebulição.

Observe que o fenol possui um átomo de hidrogênio ligado a oxigênio (-OH), o que faz com que suas moléculas consigam estabelecer fortes ligações de hidrogênio entre si, o que deve elevar a sua temperatura de ebulição. Já a propanona, não possui átomos de hidrogênio ligados diretamente à átomos de oxigênio, nitrogênio ou flúor. Assim, as moléculas de propanona não são capazes de estabelecer ligações de hidrogênio entre si. Elas se mantêm unidas por forças de interação intermoleculares mais fracas, do tipo dipolo-dipolo. Assim, a propanona apresentará temperatura de ebulição mais baixa que o fenol.

Logo, devido às diferenças de ponto de ebulição, essas substâncias podem ser separadas pelo método da destilação fracionada. Portanto, **alternativa E**.



**Figura 61:** A- Ligações de hidrogênio presentes entre moléculas do fenol. B- Interações dipolo-dipolo, presentes entre moléculas da propanona.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2015 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 56 - CADERNO BRANCO**

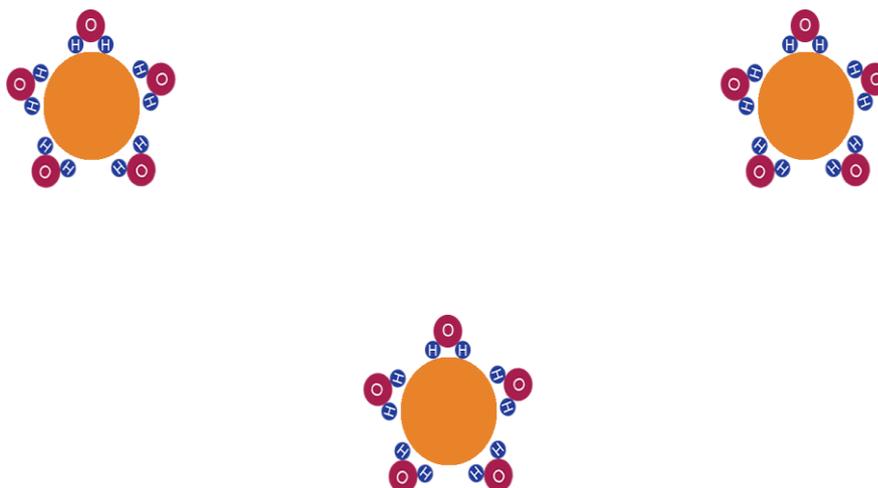
A obtenção de sistemas coloidais estáveis depende das interações entre as partículas dispersas e o meio onde se encontram. Em um sistema coloidal aquoso, cujas partículas são hidrofílicas, a adição de um solvente orgânico miscível em água, como etanol, desestabiliza o coloide, podendo ocorrer a agregação das partículas preliminarmente dispersas.

A desestabilização provocada pelo etanol ocorre porque

- A) a polaridade da água no sistema coloidal é reduzida.
- B) as cargas superficiais das partículas coloidais são diminuídas.
- C) as camadas de solvatação de água nas partículas são diminuídas.
- D) o processo de miscibilidade da água e do solvente libera calor para o meio.
- E) a intensidade dos movimentos brownianos das partículas coloidais é reduzida.

### RESPOSTA COMENTADA

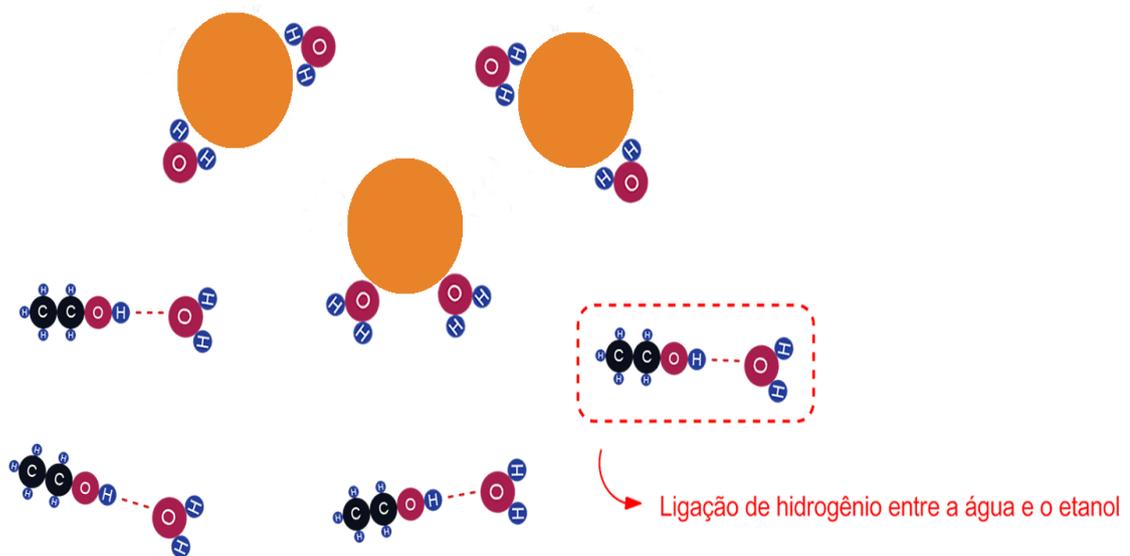
Um sistema coloidal apresenta um aspecto visual de solução homogênea, apesar de ser constituído por uma mistura heterogênea. Em um sistema coloidal aquoso, as moléculas de água solvatam as partículas hidrofílicas do soluto. Em outras palavras, as moléculas de água rodeiam as moléculas hidrofílicas do soluto. As grandes camadas de moléculas de água ao redor do soluto é o que permite que as partículas se dispersem no meio, dando o aspecto de solução homogênea a olho nu.



**Figura 62:** representação da solvatação de partículas hidrofílicas (esfera laranja) pela água em um sistema coloidal estável.

A adição de um solvente orgânico miscível em água, como etanol, é capaz de desestabilizar o coloide. Isso ocorre, pois as moléculas do etanol conseguem estabelecer fortes ligações de hidrogênio com as moléculas de água. Uma vez que as moléculas de água irão interagir agora com as moléculas de etanol, as camadas de solvatação das partículas hidrofílicas diminuem

Sem as grandes camadas de solvatação as partículas hidrofílicas tendem a se aproximar e se agregar umas às outras, tornando o aspecto visual da mistura heterogêneo. Assim, a **alternativa C** está correta.



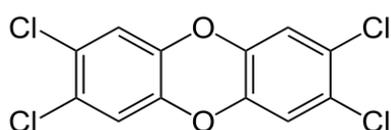
**Figura 63:** representação da solvatação de partículas hidrofílicas pela água, em um sistema coloidal desestabilizado pela adição de etanol.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2016 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 52 - CADERNO BRANCO

A crescente produção industrial lança ao ar diversas substâncias tóxicas que podem ser removidas pela passagem do ar contaminado em tanques para filtração por materiais porosos, ou para dissolução em água ou solventes orgânicos de baixa polaridade, ou para neutralização em soluções ácidas ou básicas. Um dos poluentes mais tóxicos liberados na atmosfera pela atividade industrial é a 2,3,7,8-tetraclorodioxidina.



Esse poluente pode ser removido do ar pela passagem através de tanques contendo:

- A) hexano.
- B) metanol.
- C) água destilada.
- D) ácido clorídrico aquoso.
- E) hidróxido de amônio aquoso.

### RESPOSTA COMENTADA

Substâncias tóxicas podem ser removidas por vários métodos, dependendo das suas características físico-químicas:

Método 01- dissolução em água- ideal para contaminantes solúveis em água (polares).

Método 02- dissolução em solventes orgânicos de baixa polaridade- ideal para contaminantes apolares.

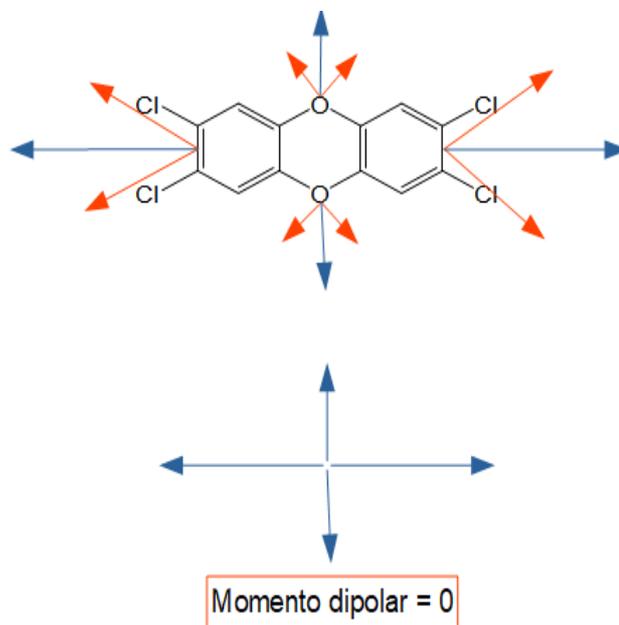
Método 03- neutralização em soluções ácidas- ideal para contaminantes básicos.

Método 04- neutralização em soluções básicas- ideal para contaminantes ácidos.

A 2,3,7,8-tetraclorodioxidina não apresenta grupos funcionais que conferem basicidade (amina) ou acidez (ácido carboxílicos, fenol, álcool, etc) em sua estrutura. Desta forma, esse

poluente não pode ser removido com ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de amônio (NH<sub>4</sub>OH), como sugerem os métodos 03 e 04, respectivamente.

A 2,3,7,8-tetraclorodioxidina possui uma cadeia hidrocarbônica longa e alguns átomos eletronegativos que polarizam algumas ligações da molécula orgânica. Porém, como se trata de uma molécula simétrica, os dipolos das ligações se anulam, e isso torna seu caráter apolar.



**Figura 64:** representação dos vetores resultantes do momento dipolar da molécula de 2, 3, 7, 8-tetraclorodioxidina.

Sendo apolar, a molécula deve apresentar baixa solubilidade em solventes polares como água e metanol, não podendo ser removida por estes. Entretanto, o hexano é um hidrocarboneto apolar e, portanto deve dissolver bem o contaminante 2,3,7,8-tetraclorodioxidina (também apolar), sendo assim capaz de removê-lo do ar. **Alternativa A.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 60 - CADERNO AZUL

O carvão ativado é um material que possui elevado teor de carbono, sendo muito utilizado para a remoção de compostos orgânicos voláteis do meio, como o benzeno. Para a remoção desses compostos, utiliza-se a adsorção. Esse fenômeno ocorre por meio de interações do tipo intermoleculares entre a superfície do carvão (adsorvente) e o benzeno (adsorvato, substância adsorvida).

No caso apresentado, entre o adsorvente e a substância adsorvida ocorre a formação de:

- A) Ligações dissulfeto.
- B) Ligações covalentes.
- C) Ligações de hidrogênio.
- D) Interações dipolo induzido – dipolo induzido.
- E) Interações dipolo permanente – dipolo permanente.

## RESPOSTA COMENTADA

O carvão ( $C_{(s)}$ ) e o benzeno ( $C_6H_6$ , hidrocarboneto) são compostos de caráter apolar. As forças de atração que mantêm moléculas apolares atraídas são as chamadas forças de Van der Waals ou dipolo instantâneo- dipolo induzido ou interações dipolo induzido- dipolo induzido. Essas forças são fracas e resultam de um “desequilíbrio” repentino no movimento dos elétrons das moléculas. Momentaneamente, uma molécula pode estar com mais elétrons de um lado que do outro e assim criar, em uma fração de segundo, uma polarização (dipolo instantâneo). Essa molécula, por indução elétrica, vai provocar a polarização de uma molécula vizinha (dipolo induzido), resultando na força de atração dipolo induzido-dipolo induzido. Sendo assim, a **alternativa D** é a correta.



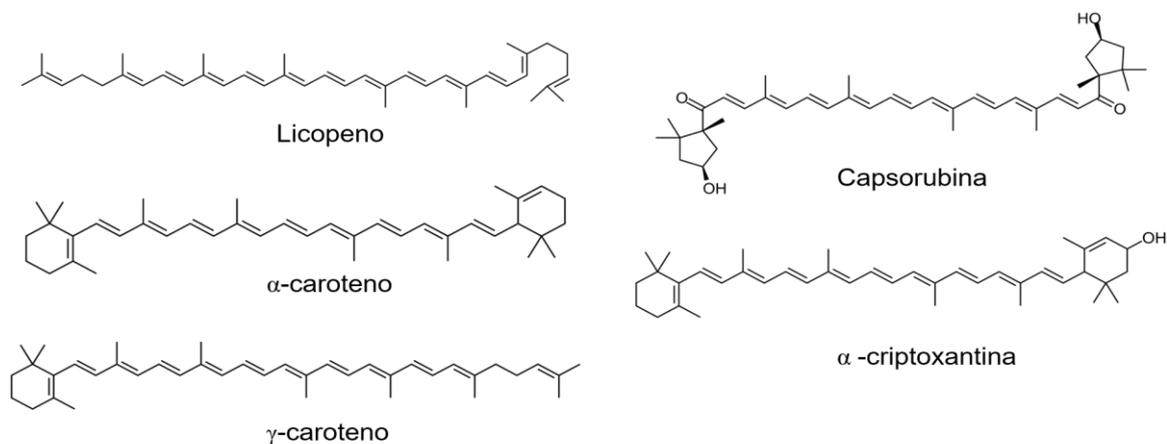
Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2017 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 130 - CADERNO AZUL

A cromatografia em papel é um método de separação que se baseia na migração diferencial dos componentes de uma mistura entre duas fases imiscíveis. Os componentes da amostra são separados entre a fase estacionária e a fase móvel em movimento no papel. A fase estacionária consiste de celulose praticamente pura, que pode absorver até 22% de água. É a água absorvida que funciona como fase estacionária líquida e que interage com a fase móvel,

também líquida (partição líquido-líquido). Os componentes capazes de formar interações intermoleculares mais fortes com a fase estacionária migram mais lentamente.

Uma mistura de hexano com 5% (v/v) de acetona foi utilizada como fase móvel na separação dos componentes de um extrato vegetal obtido a partir de pimentões. Considere que esse extrato contém as substâncias representadas.



A substância presente na mistura que migra mais lentamente é o (a):

- A) licopeno
- B)  $\alpha$ -caroteno
- C)  $\gamma$ -caroteno
- D) capsorubina
- E)  $\alpha$ -criptoxantina

### RESPOSTA COMENTADA

A fase móvel utilizada na separação dos componentes do pimentão é uma mistura de hexano (95%) com acetona (5%). Como o componente majoritário da mistura é um hidrocarboneto, podemos afirmar que a fase móvel tem caráter apolar. Já a fase estacionária (celulose/água) possui caráter polar.

Os componentes do extrato de pimentão podem ser separados por cromatografia em papel, porque tanto os componentes do extrato como as fases estacionária e móvel possuem diferentes polaridades.

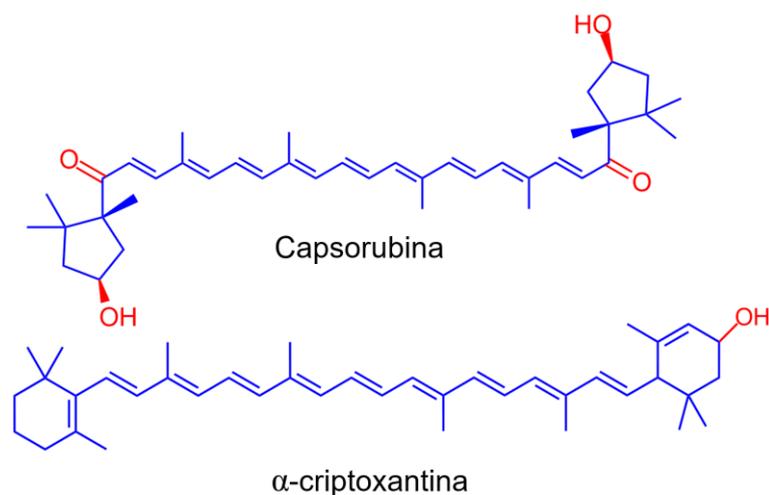
As moléculas polares presentes no extrato irão formar interações intermoleculares mais fortes com a fase estacionária (também polar) e por isso devem ficar mais tempo retidas no papel (migram mais lentamente). Já as moléculas apolares irão formar interações intermoleculares mais fortes com a fase móvel (também apolar) e por isso devem ser facilmente arrastadas pela mistura de solventes (migram mais rapidamente).

Dos compostos orgânicos presentes no extrato, o licopeno, o  $\alpha$ -caroteno e o  $\gamma$ -caroteno são classificados como hidrocarbonetos. Hidrocarbonetos são substâncias apolares, logo, essas moléculas vão apresentar interações intermoleculares mais fortes com a fase móvel e por isso devem migrar mais rapidamente.

A  $\alpha$ -criptoxantina e a capsorubina possuem em sua estrutura, grupos que conferem certo grau de polaridade às suas moléculas. A presença dos grupos hidroxila e/ou carbonila (-OH e/ou -CO-) intensifica a interação dessas moléculas com a fase estacionária (por meio de ligações de hidrogênio ou dipolo-dipolo).

Entretanto, a estrutura da capsorubina apresenta uma quantidade maior de grupos polares, se comparada a molécula da  $\alpha$ -criptoxantina. Assim, espera-se que a capsorubina consiga manter interações moleculares mais intensas com a fase estacionária e portanto, migre de forma mais lenta, fazendo correta a **alternativa D**.

Abaixo mostramos as estruturas da  $\alpha$ -criptoxantina e da capsorubina, destacando os grupos polares existentes em cada uma delas.



**Figura 65:** Moléculas da Capsorubina e  $\alpha$ -criptoxantina com destaque aos grupos que conferem polaridade às respectivas substâncias.

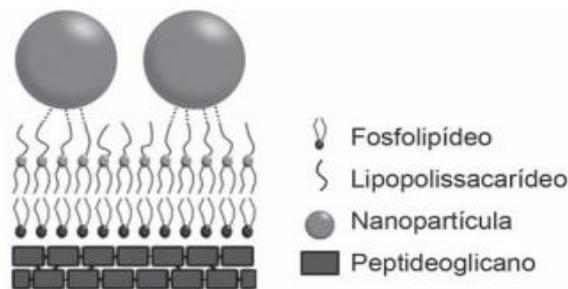


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2019 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 108 - CADERNO AZUL**

Nanopartículas de sílica recobertas com antibióticos foram desenvolvidas com sucesso como material bactericida, pois são eficazes contra bactérias sensíveis e resistentes, sem citotoxicidade significativa a células de mamíferos. As nanopartículas livres de antibióticos também foram capazes de matar as bactérias *E. coli* sensíveis e resistentes ao antibiótico estudado. Os autores sugerem que a interação entre os grupos hidroxil da superfície das

nanopartículas e os lipopolissacarídeos da parede celular da bactéria desestabilizaria sua estrutura.



CAPELETTI, L. B. et al. Tailored Silica – Antibiotic Nanoparticles: Overcoming Bacterial Resistance with Low Cytotoxicity. *Langmuir*, n. 30, 2014 (adaptado).

A interação entre a superfície da nanopartícula e o lipopolissacarídeo ocorre por uma ligação

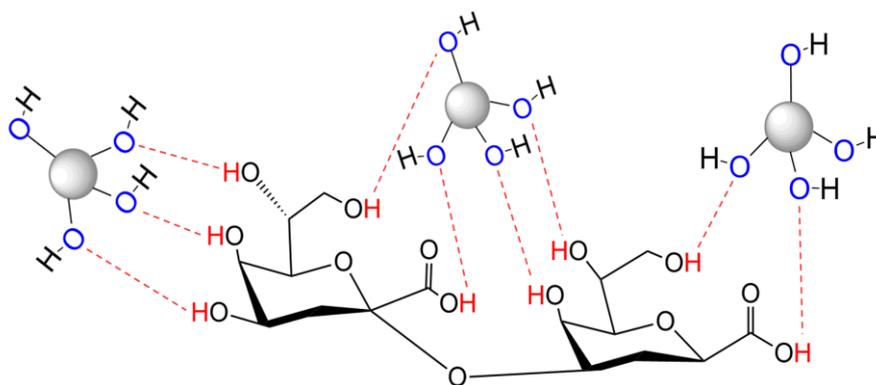
- A) de hidrogênio.
- B) hidrofóbica
- C) dissulfeto.
- D) metálica
- E) iônica

### RESPOSTA COMENTADA

A superfície das nanopartículas apresenta grupos hidroxil (-OH), que são grupos de caráter polar, devido a grande diferença de eletronegatividade entre seus átomos.

Já os lipopolissacarídeos são formados, como o próprio nome sugere, por lipídeos e polissacarídeos. Os polissacarídeos são polímeros de carboidratos (açúcares) que apresentam em sua estrutura geral diversos grupos hidroxilas (-OH).

Assim, a interação entre a superfície das nanopartículas e os lipopolissacarídeos deve ocorrer por meio de pontes de hidrogênio entre as hidroxilas das nanopartículas e as hidroxilas dos lipopolissacarídeos.



**Figura 66:** Interações entre os grupos hidroxila das superfícies das nanopartículas com as hidroxilas de um polissacarídeo por meio de ligações de hidrogênio.

Portanto, a **alternativa A** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2019 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 112 - CADERNO AZUL

Os hidrocarbonetos são moléculas orgânicas com uma série de aplicações industriais. Por exemplo, eles estão presentes em grande quantidade nas diversas frações do petróleo e normalmente são separados por destilação fracionada, com base em suas temperaturas de ebulição. O quadro apresenta as principais frações obtidas na destilação do petróleo em diferentes faixas de temperaturas.

Fração	Faixa de temperatura (°C)	Exemplo de produto(s)	Número de átomos de carbono (hidrocarboneto de fórmula geral $C_nH_{2n+2}$ )
1	Até 20	Gás natural e gás de cozinha (GLP)	$C_1$ a $C_4$
2	30 a 180	Gasolina	$C_6$ a $C_{12}$
3	170 a 290	Querosene	$C_{11}$ a $C_{16}$
4	260 a 350	Óleo diesel	$C_{14}$ a $C_{18}$

SANTA MARIA, L.C et al. Petróleo: um tema para um ensaio de química. *Química Nova na Escola*, n. 15, maio 2002 (adaptado).

Na fração 4, a separação dos compostos ocorre em temperaturas mais elevadas porque

- A) Suas densidades são maiores.
- B) O número de ramificações é maior
- C) Sua solubilidade no petróleo é maior
- D) As forças intermoleculares são mais intensas.
- E) A cadeia carbônica é mais difícil de ser quebrada.

### RESPOSTA COMENTADA

A temperatura de ebulição dos compostos orgânicos depende, principalmente, dos tipos de forças de atração intermoleculares existentes entre as moléculas e do tamanho (ou massa molar) da substância.

Como todas as frações (1 a 4) tratam-se de hidrocarbonetos, em todas elas predomina o mesmo tipo de força de atração intermolecular: dipolo-induzido dipolo-instantâneo ou forças

de Van der Waals. Logo, o fator que deve determinar as diferenças de temperatura de ebulição, é o tamanho ou massa molar das moléculas.

Observe que a fração 4, que contém alcanos com maiores cadeias carbônicas, é a que apresenta temperatura de ebulição mais elevada (260 a 350°C). Isso ocorre porque quanto maior a molécula, maior será a quantidade de aplicação das forças de Van der Waals e conseqüentemente mais intensas serão as forças que mantêm essas moléculas unidas. Portanto, a **alternativa D** está correta.

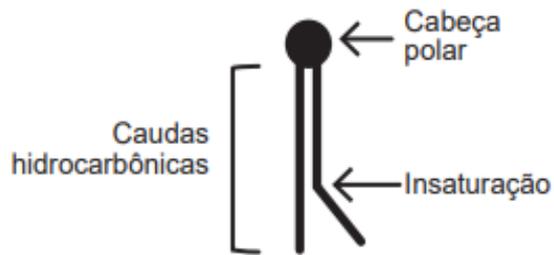


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

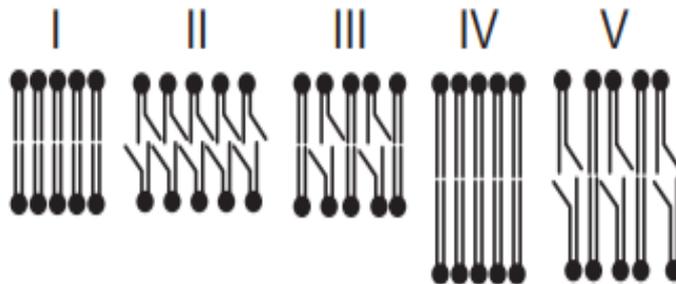
#### ENEM 2019 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 116 - CADERNO AZUL

A fluidez da membrana celular é caracterizada pela capacidade de movimento das moléculas componentes dessa estrutura. Os seres vivos mantêm essa propriedade de duas formas: controlando a temperatura e/ou alterando a composição lipídica da membrana. Neste último aspecto, o tamanho e o grau de insaturação das caudas hidrocarbônicas dos fosfolipídios, conforme representados na figura, influenciam significativamente a fluidez. Isso porque quanto maior for a magnitude das interações entre os fosfolipídios, menor será a fluidez da membrana.

### Representação simplificada da estrutura de um fosfolipídio



Assim, existem bicamadas lipídicas com diferentes composições de fosfolipídios, como as mostradas de I a V.



Qual das bicamadas lipídicas apresentadas possui maior fluidez?

- A) I
- B) II
- C) III
- D) IV
- E) V

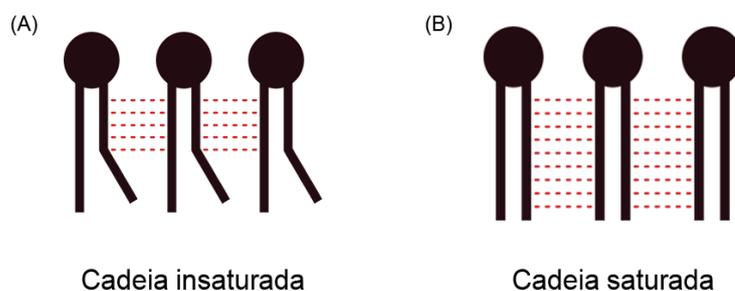
### RESPOSTA COMENTADA

A fluidez da membrana celular depende diretamente das propriedades físico-químicas da cauda hidrocarbônica dos fosfolipídeos. A bicamada de maior fluidez será aquela que apresentar a menor magnitude de interações intermoleculares estabelecidas entre as caudas dos fosfolipídeos.

Como todas as caudas dos fosfolipídeos são constituídas por hidrocarbonetos (caráter apolar), a força de interação intermolecular que se estabelece entre elas é do tipo Van Der Waals. A magnitude das forças de Van Der Waals depende da área de contato das moléculas e do tamanho da cadeia hidrocarbônica.

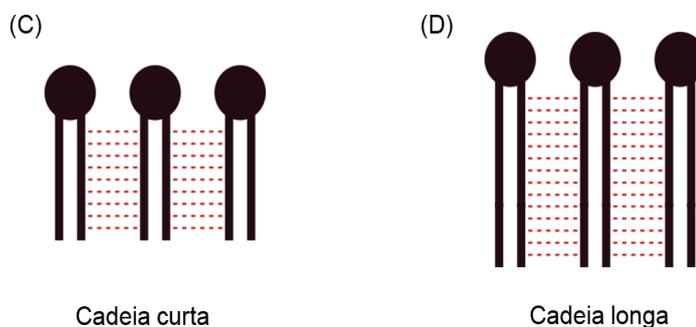
Moléculas cujos “formatos” propiciam pequena área de contato entre as caudas, devem apresentar menor força de interação intermolecular.

A presença de uma insaturação na cauda gera uma curvatura na molécula do fosfolipídio. Essa curvatura deve diminuir a área de contato entre eles, diminuindo a força de atração intermolecular.



**Figura 67:** comparação da magnitude das forças de Van Der Waals (sinalizadas como linhas pontilhadas vermelhas) entre fosfolipídeos com insaturação (A) e sem insaturação (B).

Caudas hidrocarbônicas curtas devem apresentar forças intermoleculares menos intensas que caudas hidrocarbônicas longas. Isso acontece porque cadeias curtas possuem menor quantidade de “pontos” de atração que cadeias longas, como destacamos na figura abaixo:

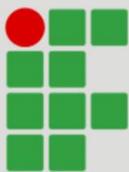


**Figura 68:** comparação da magnitude das forças de Van Der Waals (sinalizadas como linhas pontilhadas vermelhas) entre fosfolipídeos de cadeia curta (C) e de cadeia longa (D).

Portanto, a bicamada de maior fluidez deve ser a que apresenta o maior grau de insaturação e a menor cadeia carbônica. Entre as alternativas apresentadas, a bicamada da **alternativa B** é a que possui essas características.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

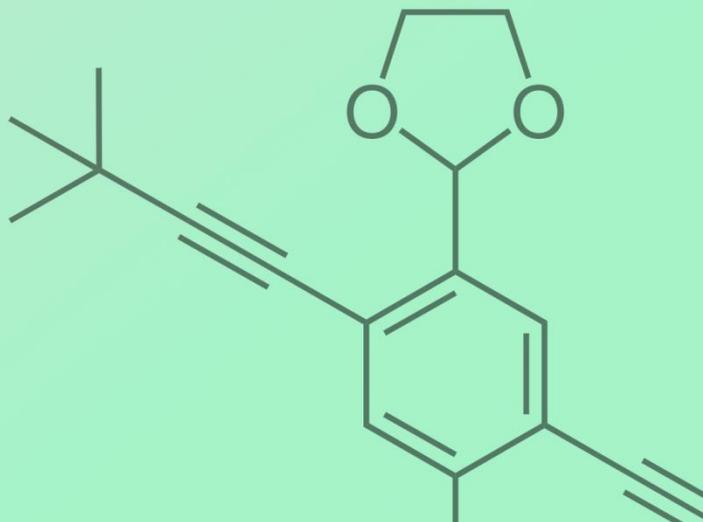


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Estrutura das ligações*



## 11-ESTRUTURA DAS LIGAÇÕES

### ENEM 2014 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 76 - CADERNO BRANCO

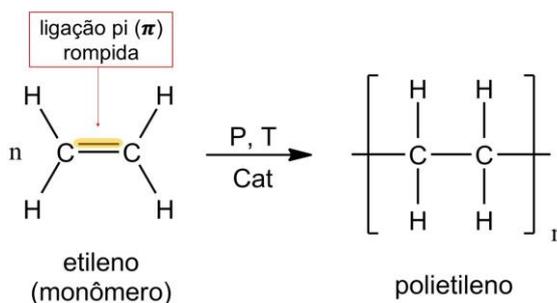
No Brasil e no mundo têm surgido movimentos e leis para banir o uso de sacolas plásticas, em supermercados, feitas de polietileno. Obtida a partir do petróleo, a matéria-prima do polietileno é o gás etileno, que depois de polimerizado dá origem ao plástico, composto essencialmente formado pela repetição de grupos  $\text{—CH}_2\text{—}$ . O principal motivo do banimento é a poluição, pois se estima que as sacolas levam cerca de 300 anos para se degradarem no meio ambiente, sendo resistentes a ataques químicos, à radiação e a microrganismos.

O motivo pelo qual essas sacolas demoram muito tempo para se degradarem é que suas moléculas

- A) apresentam muitas insaturações.
- B) contêm carbono em sua composição.
- C) são formadas por elementos de alta massa atômica.
- D) são muito longas e formadas por ligações químicas fortes.
- E) têm origem no petróleo, que é uma matéria-prima não renovável.

### RESPOSTA COMENTADA

O polietileno da sacola plástica é um **polímero de adição** formado a partir do etileno (eteno). Abaixo, está representada a reação de polimerização:



**Figura 69:** Reação de polimerização que origina o polietileno.

Uma ligação covalente entre dois carbonos é mantida por uma ligação sigma e uma ligação dupla. Contudo, uma ligação pi é mais forte do que uma ligação sigma. A energia necessária para quebrar uma ligação (energia de ligação) C-C, que é composta apenas por uma ligação sigma, é de 346,8 kJ/mol.

Agora, é preciso verificar, entre as sentenças, a que melhor explica o motivo pelo qual as moléculas de polietileno demoram tanto tempo para se degradar.

A) apresentam muitas insaturações

Não há nenhuma insaturação (ligação dupla ou tripla) na cadeia do polietileno. Apenas no monômero (unidade que dá origem ao polímero) antes da reação de polimerização acontecer.

B) contém carbono na sua composição.

Muitos outros compostos orgânicos possuem carbono em sua composição, e alguns são biodegradáveis, o que torna essa justificativa inválida.

C) são formadas por elementos de alta massa atômica.

Incorreto. O polietileno é composto por átomos de hidrogênio e carbono. O hidrogênio é o elemento com menor massa atômica existente, 1,01u. O carbono tem massa atômica 12,02u que não é alta em comparação com a prata (Ag), por exemplo, que tem massa atômica de 107,87u. Há ainda elementos com massas atômicas muito maiores.

**D) são muito longas e formadas por ligações químicas fortes.**

Correto. As cadeias de polietileno são muito longas e as ligações químicas C=C são covalentes apolares, portanto, difíceis de serem rompidas. De fato, a energia necessária para quebrar uma ligação (energia de ligação) C-C é de 346,8 kJ/mol. Por não existirem moléculas similares a essa na natureza, não existem, também, microorganismos com enzimas capazes catalisar a quebra dessas ligações e finalmente decompô-las, o que torna esse composto resistente.

E) têm origem no petróleo, que é uma matéria-prima não renovável.

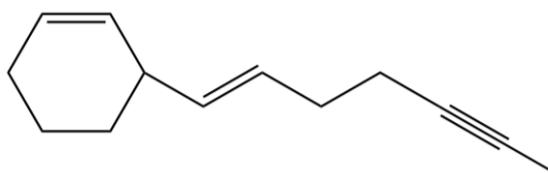
Essa afirmação é verdadeira, porém, esse não é o motivo que torna o polietileno difícil de ser degradado. O polietileno também pode ser obtido a partir do etanol (matéria-prima renovável), e ainda assim ele continua não sendo biodegradável.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube

**ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 131 - CADERNO AZUL**

O hidrocarboneto representado pela estrutura química a seguir pode ser isolado a partir das folhas ou das flores de determinadas plantas. Além disso, sua função é relacionada, entre outros fatores, a seu perfil de insaturações.

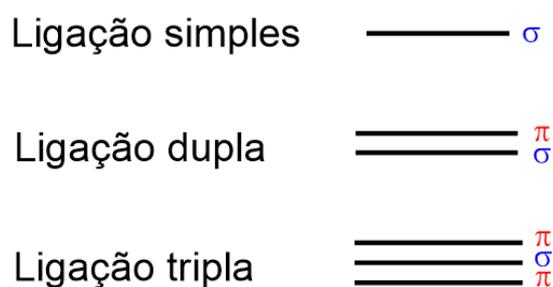


Considerando esse perfil específico, quantas ligações pi a molécula contém?

- A) 1
- B) 2
- C) 4
- D) 6
- E) 7

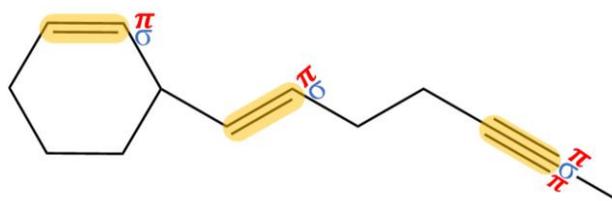
## RESPOSTA COMENTADA

De acordo com a teoria dos orbitais moleculares, a ligação simples C-C é formada por uma ligação sigma ( $\sigma$ ). A ligação dupla C=C é composta por uma ligação sigma ( $\sigma$ ), mais forte, e uma ligação pi ( $\pi$ ), mais fraca. Já a ligação tripla C $\equiv$ C é formada pela combinação de uma ligação sigma ( $\sigma$ ), mais forte, e duas ligações pi ( $\pi$ ), mais fracas. Na figura abaixo, são representadas essas composições:



**Figura 70:** representação dos diferentes tipos de ligações covalentes.

A questão pede a quantidade total de ligações pi na molécula do hidrocarboneto. Analisando a estrutura do composto, é possível verificar a presença de duas ligações duplas e uma ligação tripla. Sabendo que cada ligação dupla contém uma ligação pi, e que a ligação tripla contém duas ligações pi, podemos concluir que na molécula existem 4 ligações pi no total. Portanto, **alternativa C**.



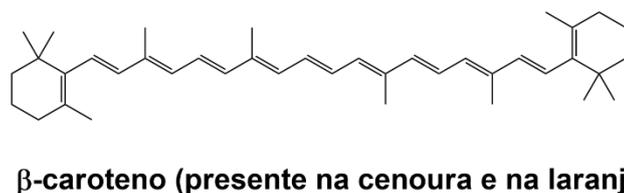
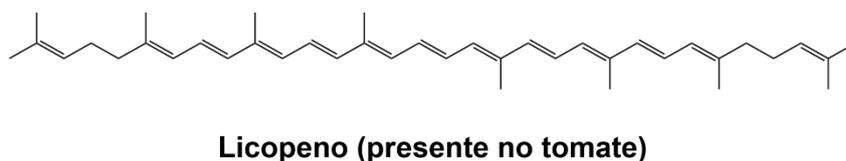
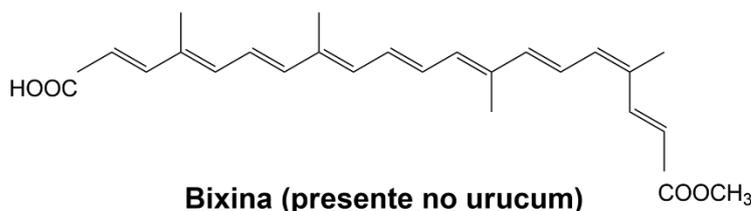
**Figura 71:** Identificação das ligações pi e sigma no hidrocarboneto.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube

### ENEM 2019 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 120 - CADERNO AZUL

A utilização de corantes na indústria de alimentos é bastante difundida e a escolha por corantes naturais vem sendo mais explorada por diversas razões. A seguir são mostradas três estruturas de corantes naturais.



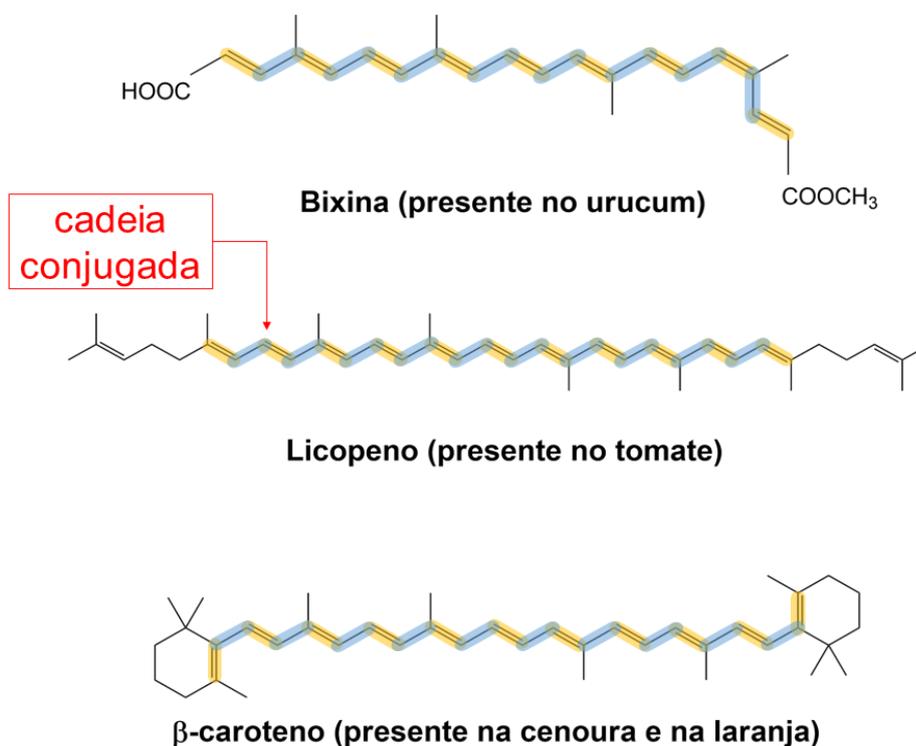
HAMERSKI, L.; REZENDE, M. J. C.; SILVA, B. V. Usando as cores da natureza para atender aos desejos do consumidor: substâncias naturais como corantes na indústria alimentícia. *Revista Virtual de Química*, n. 3, 2013.

A propriedade comum às estruturas que confere cor a esses compostos é a presença de

- A) cadeia conjugada.
- B) cadeia ramificada.
- C) átomos de carbonos terciários.
- D) ligações duplas de configuração *cis*.
- E) átomos de carbonos de hibridação  $sp^3$ .

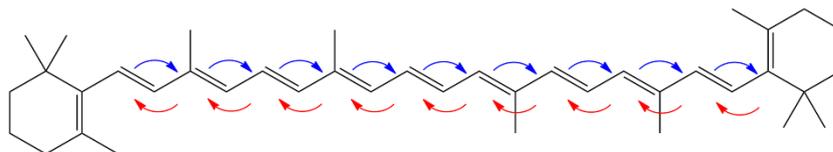
### RESPOSTA COMENTADA

Observando atentamente as estruturas moleculares da bixina, licopeno e do  $\beta$ -caroteno é possível notar que todas as moléculas possuem cadeias carbônicas longas, onde existe uma alternância entre ligações duplas e simples.



**Figura 72:** Cadeias conjugadas em destaque. As ligações simples estão em azul e as ligações duplas, em amarelo.

Esse sistema (simples, dupla, simples, dupla, simples...) é denominado de cadeia conjugada e garante aos elétrons das ligações pi uma grande mobilidade (como mostrado na figura abaixo)



### **β-caroteno (presente na cenoura e na laranja)**

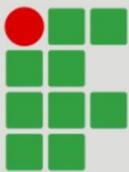
**Figura 73:** Mobilidade dos elétrons representada pelas setas. Seta azul representa a movimentação dos elétrons indo para a direita. A seta vermelha representa a movimentação para o lado contrário.

Moléculas com grandes extensões de conjugação geralmente são mais estáveis e absorvem energia em comprimentos de onda mais altos, na região do visível. Ao receber energia (da luz natural ou artificial), os elétrons pi de um sistema conjugado saltam para níveis energéticos mais elevados e logo depois devolvem a energia absorvida na forma de radiação eletromagnética. Se essa radiação emitida possui comprimento de onda na faixa do espectro visível, nós conseguimos ver as cores e assim temos os corantes! De fato, existe uma relação direta entre as cores das substâncias orgânicas e a presença de conjugação nas cadeias de suas moléculas. Sendo assim, a **alternativa A** está correta.

Cabe ressaltar que a presença de carbonos terciários, ramificações, tipo de geometria da dupla ligação ou presença de carbonos saturados ( $sp^3$ ) não garantem propriedades coloridas aos compostos orgânicos.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube



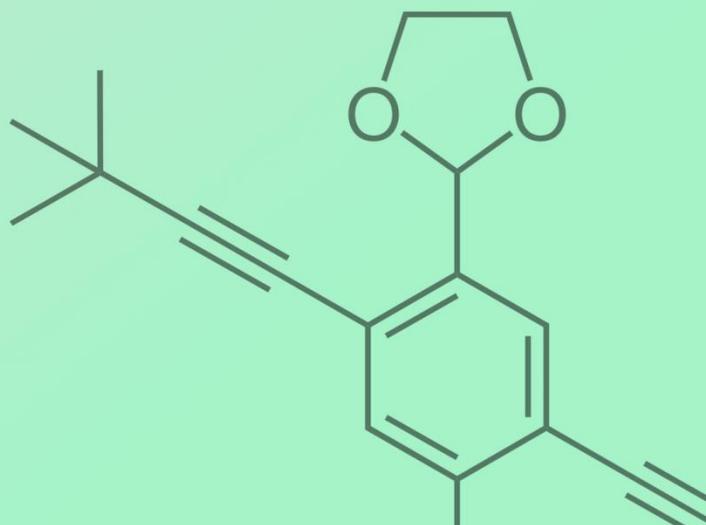
**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro



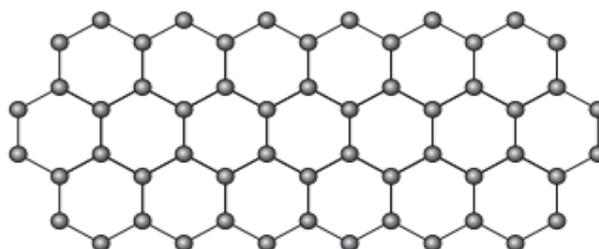
# *Hibridização*



## 12-HIBRIDIZAÇÃO

### ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 130 - CADERNO AZUL

O grafeno é uma forma alotrópica do carbono constituído por uma folha planar (arranjo bidimensional) de átomos de carbono compactados e com a espessura de apenas um átomo. Sua estrutura é hexagonal, conforme a figura.



Nesse arranjo, os átomos de carbono possuem hibridização

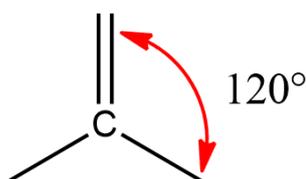
- A)  $sp$  de geometria linear.
- B)  $sp^2$  de geometria trigonal planar.
- C)  $sp^3$  alternados com carbonos com hibridação  $sp$  de geometria linear.
- D)  $sp^3d$  de geometria planar.
- E)  $sp^3d^2$  com geometria hexagonal planar.

### RESPOSTA COMENTADA

O átomo de carbono pode apresentar três tipos de hibridação,  $sp$ ,  $sp^2$  e  $sp^3$ . O átomo de carbono que faz quatro ligações simples possui hibridização do tipo  $sp^3$  e geometria tetraédrica. O átomo de carbono que faz duas ligações simples e uma ligação dupla terá hibridização  $sp^2$  e geometria trigonal planar; e o átomo de carbono que faz uma ligação simples e uma ligação tripla, ou duas ligações duplas, apresenta hibridização  $sp$  e geometria linear.

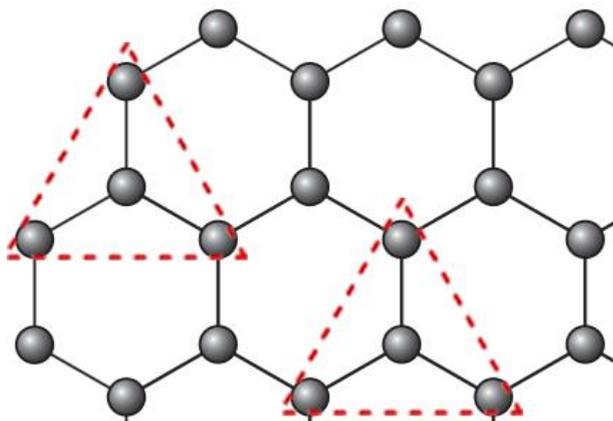
Observando o arranjo bidimensional de átomos de carbono que compõem o grafeno, percebemos que para que os átomos estejam estabilizados é necessário que cada um deles faça uma ligação dupla e duas simples (embora as ligações duplas estejam implícitas na representação do enunciado).

O carbono que faz uma ligação dupla e duas simples terá hibridação do tipo  $sp^2$  e geometria triangular ou trigonal plana (Figura 1). Essa geometria é a que garantirá o máximo afastamento e a menor repulsão entre os ligantes.



**Figura 74:** geometria trigonal plana ou triangular.

Veja que na própria representação da estrutura hexagonal do grafeno é possível perceber que, qualquer que seja o carbono analisado, observamos um formato triangular caracterizando sua geometria (Figura 2).

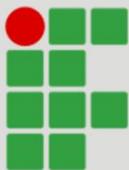


**Figura 75:** estrutura do grafeno, destacando a geometria trigonal plana.

Portanto, a **alternativa B** é a correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.



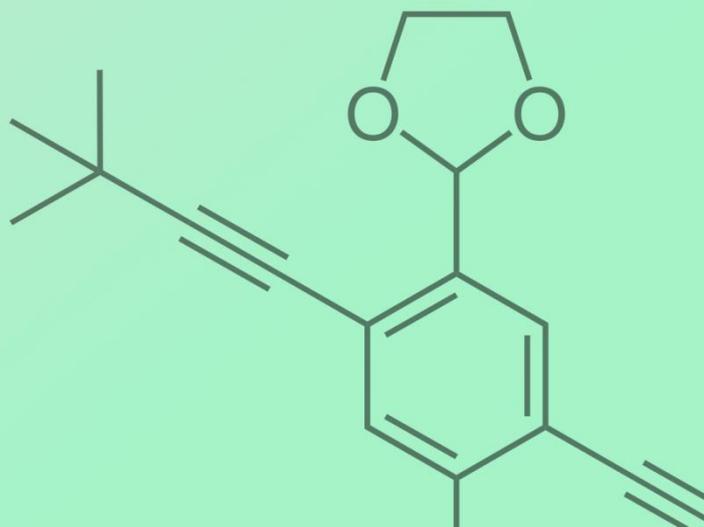
**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro



# *Solubilidade*

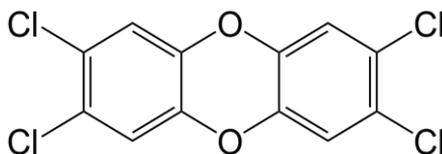


## 13-SOLUBILIDADE

### ENEM 2010 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 79 - CADERNO AZUL

Vários materiais, quando queimados, podem levar à formação de dioxinas, um composto do grupo dos organoclorados. Mesmo quando a queima ocorre em incineradores, há liberação de substâncias derivadas da dioxina no meio ambiente. Tais compostos são produzidos em baixas concentrações, como resíduos da queima de matéria orgânica em presença de produtos que contenham cloro. Como consequência de seu amplo espalhamento no meio ambiente, bem como de suas propriedades estruturais, as dioxinas sofrem magnificação trófica na cadeia alimentar. Mais de 90% da exposição humana às dioxinas é atribuída aos alimentos contaminados ingeridos.

A estrutura típica de uma dioxina está apresentada a seguir:



A molécula do 2,3,7,8 - TCDD é popularmente conhecida pelo nome ‘dioxina’, sendo a mais tóxica dos 75 isômeros de compostos clorados de dibenzo-p-dioxina existentes.

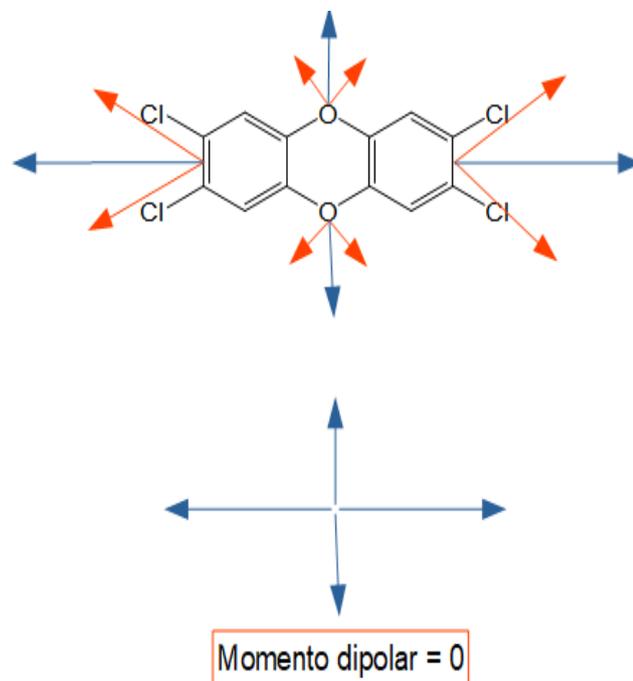
Com base no texto e na estrutura apresentada, as propriedades químicas das dioxinas que permitem sua bioacumulação nos organismos estão relacionadas ao seu caráter

- A) básico, pois a eliminação de materiais alcalinos é mais lenta do que a dos ácidos.
- B) ácido, pois a eliminação de materiais ácidos é mais lenta do que a dos alcalinos.
- C) redutor, pois a eliminação de materiais redutores é mais lenta do que a dos oxidantes.
- D) lipofílico, pois a eliminação de materiais lipossolúveis é mais lenta do que a dos hidrossolúveis.
- E) hidrofílico, pois a eliminação de materiais hidrossolúveis é mais lenta do que a dos lipossolúveis.

## RESPOSTA COMENTADA

Alguma característica físico-química das moléculas de dioxina permite que elas se acumulem no nosso organismo. Observando a estrutura disponibilizada na questão, é possível notar que a molécula não possui grupos funcionais ácidos (ácido carboxílico, fenol, álcool ou alcino terminal) assim como não possui grupos funcionais capazes de garantir basicidade (aminas). Além disso, a molécula não possui caráter redutor.

Na estrutura da dioxina abaixo, podemos observar uma grande cadeia hidrocarbônica de caráter apolar e a presença de alguns grupos que conferem polaridade (vetores de polaridade destacados em vermelho). Porém, a molécula é simétrica, e isso faz com que os vetores se anulem, resultando em uma estrutura com momento dipolar nulo (vetores resultantes destacados em azul). Desta forma, a dioxina deve apresentar caráter apolar.



**Figura 76:** molécula do 2,3,7,8 - TCDD, destacando seu caráter apolar.

A apolaridade confere às dioxinas a capacidade de serem solúveis em lipídios (lipossolúveis), mas as impedem de serem facilmente solubilizadas em água em função do seu caráter hidrofóbico. Como a eliminação de substâncias pelo nosso organismo é feita principalmente através da urina, as substâncias hidrossolúveis (solúveis em água) são eliminadas mais rapidamente, enquanto a eliminação de substâncias lipossolúveis acontece de modo mais

lento. Desse modo, **alternativa D**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2011 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 55 - CADERNO AZUL

No processo de industrialização da mamona, além do óleo que contém vários ácidos graxos, é obtida uma massa orgânica, conhecida como torta de mamona. Esta massa tem potencial para ser utilizada como fertilizante para o solo e como complemento em rações animais devido a seu elevado valor proteico. No entanto, a torta apresenta compostos tóxicos e alergênicos, diferentemente do óleo da mamona. Para que a torta possa ser utilizada na alimentação animal, é necessário um processo de descontaminação.

*QUÍMICA NOVA NA ESCOLA*. São Paulo, v. 32, n. 1, 2010.(adaptado)

A característica presente nas substâncias tóxicas e alergênicas, que inviabiliza sua solubilização no óleo de mamona, é a

- A) lipofilia.
- B) hidrofilia.
- C) hipocromia.
- D) cromatofilia
- E) hiperpolarização.

### RESPOSTA COMENTADA

De acordo com o texto, o óleo de mamona é composto principalmente por ácidos graxos, isto é, ácidos monocarboxílicos de cadeia alquílica longa. Essa grande cadeia alquílica garante ao óleo um elevado caráter apolar.

Partindo da premissa que “semelhante dissolve semelhante”, o óleo de mamona apresentará boa afinidade com substâncias também apolares e baixa afinidade com substâncias polares. Ou seja, substâncias lipofílicas, como as gorduras, irão solubilizar bem neste óleo, ao passo que as substâncias hidrofílicas, que apresentam boa solubilidade em água, não conseguirão solubilizar bem no óleo de mamona.

Assim, as substâncias tóxicas e alergênicas presentes na torta de mamona, uma vez que não são solúveis no óleo de mamona, devem ter como característica fundamental a hidrofilia. Portanto, **alternativa B**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 70 - CADERNO AZUL**

Em uma planície, ocorreu um acidente ambiental em decorrência do derramamento de grande quantidade de um hidrocarboneto que se apresenta na forma pastosa à temperatura ambiente. Um químico ambiental utilizou uma quantidade apropriada de uma solução de *para*-dodecil-benzenossulfonato de sódio, um agente tensoativo sintético, para diminuir os impactos desse acidente.

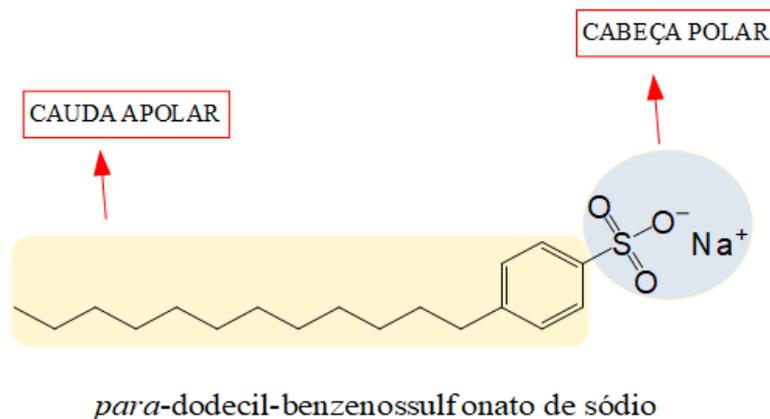
Essa intervenção produz resultados positivos para o ambiente porque

- A) promove uma reação de substituição no hidrocarboneto, tornando-o menos letal ao ambiente.
- B) a hidrólise do *para*-dodecil-benzenossulfonato de sódio produz energia térmica suficiente para vaporizar o hidrocarboneto.
- C) a mistura desses reagentes provoca a combustão do hidrocarboneto, o que diminui a quantidade dessa substância na natureza.
- D) a solução de *para*-dodecil-benzenossulfonato possibilita a solubilização do hidrocarboneto.
- E) o reagente adicionado provoca uma solidificação do hidrocarboneto, o que facilita sua retirada do ambiente.

### RESPOSTA COMENTADA

Os hidrocarbonetos são uma classe de compostos orgânicos constituídos apenas por átomos de carbono e hidrogênio. Eles apresentam caráter extremamente apolar (gorduroso, lipofílico), devido a pequena diferença de eletronegatividade entre seus átomos. Segundo o texto, para diminuir os impactos de um acidente causado por um hidrocarboneto, foi utilizada a substância ***para*-dodecil-benzenossulfonato de sódio**.

O *para*-dodecil-benzenossulfonato de sódio é um princípio ativo muito conhecido na fabricação de detergentes. Sua molécula é anfifílica, ou seja, possui uma cauda apolar (cadeia alquílica longa) e uma extremidade polar (sal de ácido sulfônico), como apresenta a figura abaixo. A parte apolar da molécula interage com compostos também apolares enquanto a parte polar interage com compostos polares, garantindo a capacidade de limpeza.



**Figura 77:** *para*-dodecil-benzenossulfonato de sódio, destacando seu caráter anfifílico.

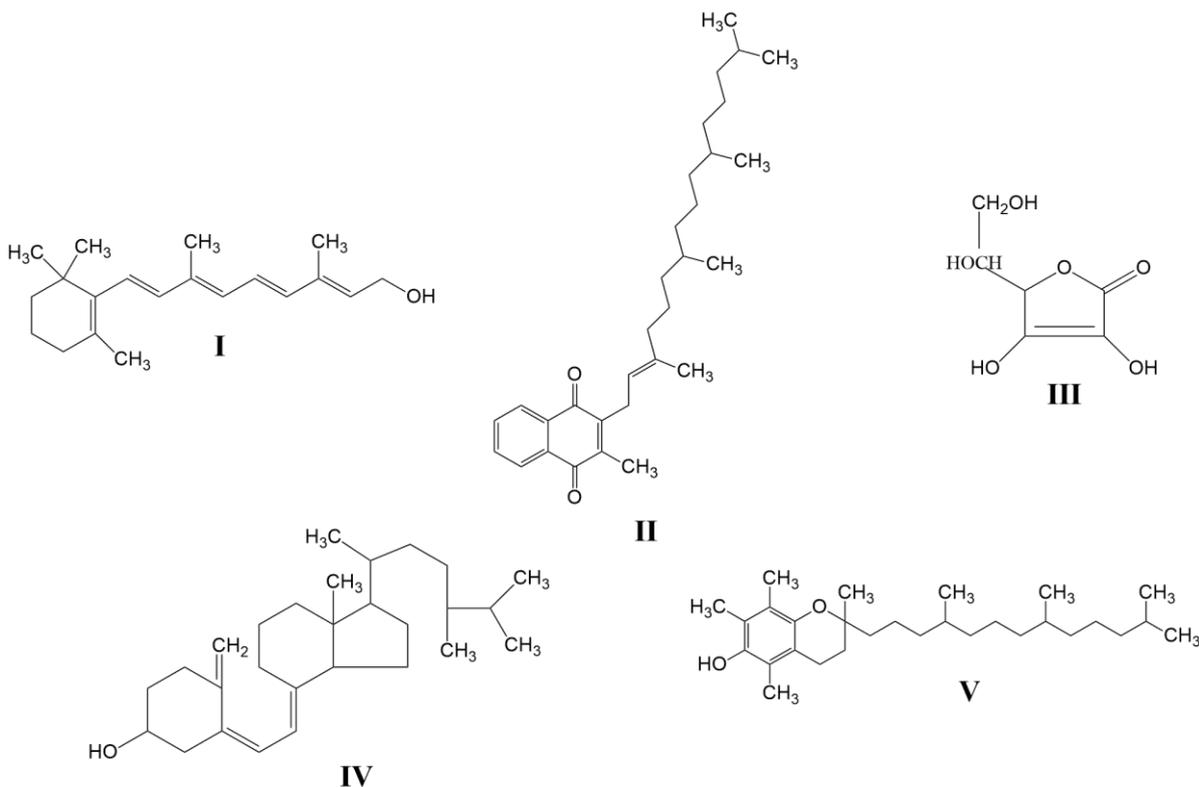
Assim, o *para*-dodecil-benzenossulfonato de sódio consegue interagir também com os hidrocarbonetos causadores do acidente, que são apolares. De fato, devido ao seu caráter anfifílico, o tensoativo consegue solubilizar esses hidrocarbonetos em meio aquoso, facilitando sua remoção e conseqüentemente diminuindo os impactos ambientais. Assim, **alternativa D.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 79 - CADERNO AZUL**

O armazenamento de certas vitaminas no organismo apresenta grande dependência de sua solubilidade. Por exemplo, vitaminas hidrossolúveis devem ser incluídas na dieta diária, enquanto vitaminas lipossolúveis são armazenadas em quantidades suficientes para evitar doenças causadas pela sua carência. A seguir são apresentadas as estruturas químicas de cinco vitaminas necessárias ao organismo.



Dentre as vitaminas apresentadas na figura, aquela que necessita de maior suplementação diária é

- A) I.
- B) II.
- C) III.
- D) IV.
- E) V.

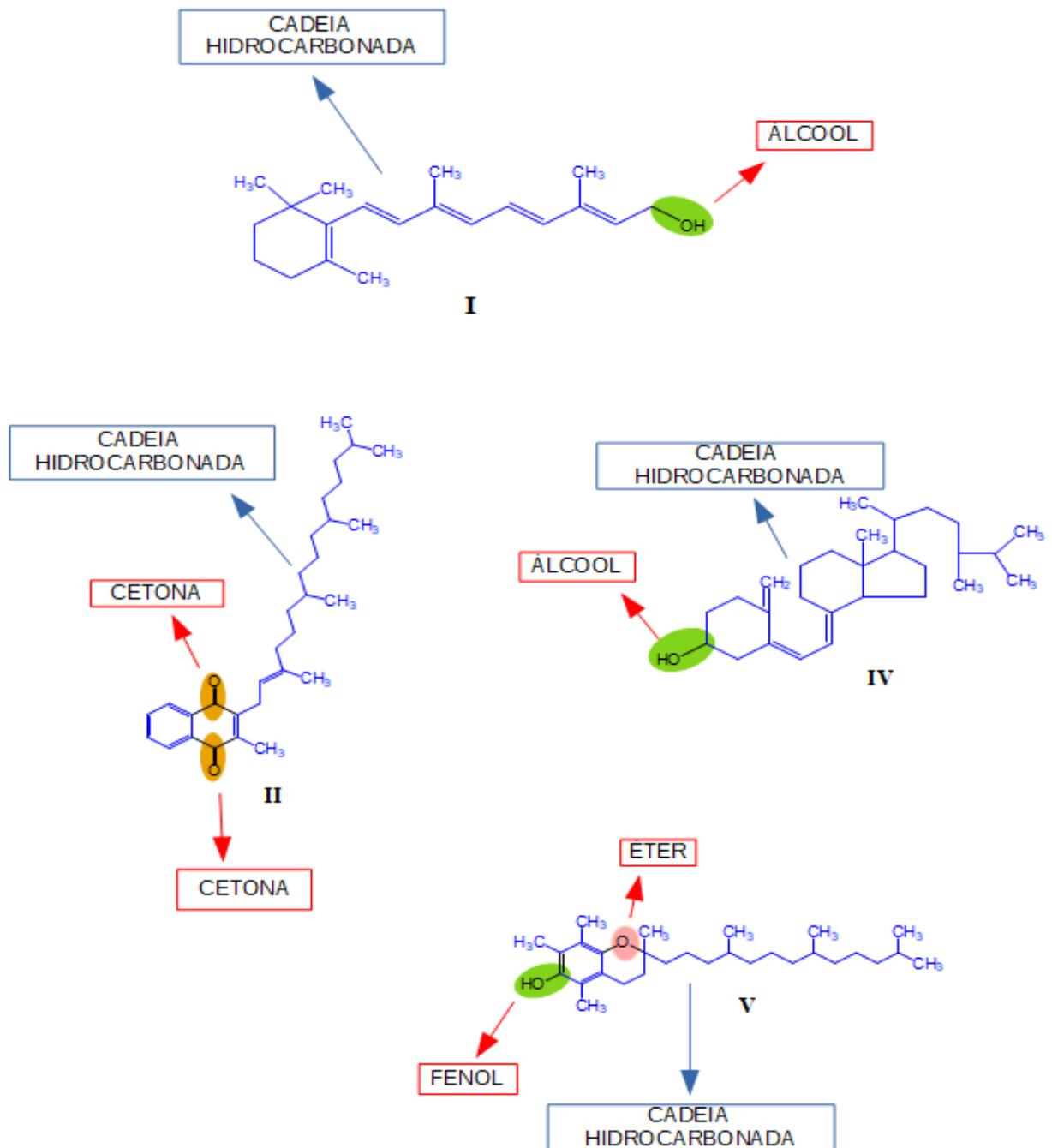
## RESPOSTA COMENTADA

As vitaminas hidrossolúveis (solúveis em água) são as que precisam de suplementação diária. Dessa forma, devemos encontrar entre as moléculas de vitaminas supracitadas, aquela que possui maior solubilidade em água.

Antes de analisar as estruturas vamos relembrar alguns conceitos importantes:

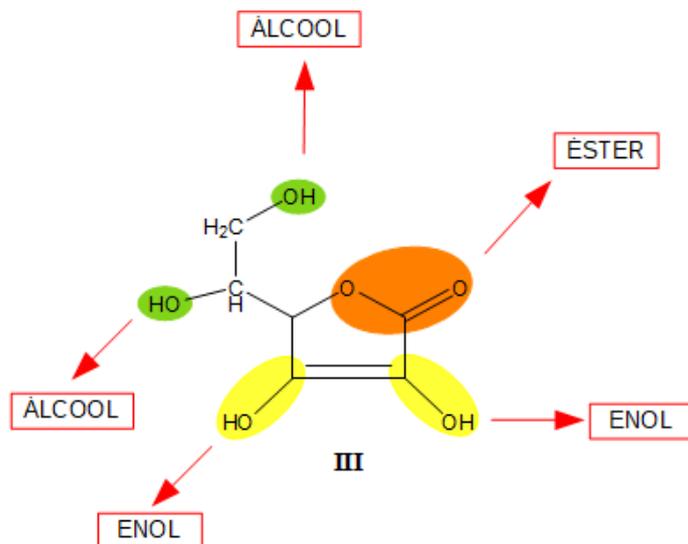
- Moléculas orgânicas solúveis em água (hidrossolúveis) possuem elevada polaridade;
- Moléculas orgânicas insolúveis em água e solúveis em lipídios (lipossolúveis) apresentam baixa polaridade;
- Cadeias hidrocarbônicas longas aumentam significativamente a lipofilia da molécula;
- A presença de grupos funcionais contribui para o aumento hidrofílico da molécula;
- Os grupos que mais contribuem para o aumento da hidrofilia são -OH, -NH<sub>2</sub> e -COOH.

Diante dessas premissas e da observação das estruturas dos compostos fornecidos, é possível inferir que as moléculas I, II, IV e V são lipofílicas. Apesar de possuírem grupos polares (álcool, cetona, éter e fenol) em sua estrutura, elas possuem cadeias hidrocarbônicas bastante longas, de forma que, a presença desses grupos não é suficiente para garantir a solubilidade das respectivas moléculas em meio aquoso. Na figura abaixo, destacamos os grupos polares e a cadeia lipofílica de cada uma delas.



**Figura 78:** moléculas I, II, IV e V destacando suas longas cadeias hidrocarbônicas (lipofílicas) e seus poucos grupos polares.

Já o composto III possui uma cadeia hidrocarbônica consideravelmente pequena ao passo que apresenta uma grande quantidade de grupos funcionais que conferem polaridade à molécula. Dessa forma, o composto III deve ser hidrossolúvel.



**Figura 79:** composto III, destacando a grande quantidade de grupos polares.

A grande solubilidade água, faz com que essa vitamina demande maior suplementação diária.

**Alternativa C.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2015 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 53 - CADERNO BRANCO

Além de ser uma prática ilegal, a adulteração de combustíveis é prejudicial ao meio ambiente, ao governo e, especialmente ao consumidor final. Em geral, essa adulteração é feita utilizando compostos com propriedades físicas semelhantes às do combustível, mas de menor valor agregado.

Considerando um combustível com 20% de adulterante a mistura em que a adulteração seria verificada visualmente é

- A) etanol e água.
- B) etanol e acetona.
- C) gasolina e água.
- D) gasolina e benzeno.
- E) gasolina e querosene

### RESPOSTA COMENTADA

De acordo com o texto, a adulteração é baseada na adição de compostos mais baratos ao combustível. Quando o adulterante tem propriedades semelhantes ao combustível, ele é totalmente solubilizado e uma mistura homogênea é formada, tornando impossível a verificação visual da adulteração. No entanto, caso o adulterante tenha propriedades físicas distintas do combustível, ele não será solubilizado e o resultado será uma mistura heterogênea bifásica, tornando possível a visualização da adulteração. Assim, se desejarmos visualizar a adulteração do combustível precisamos encontrar, entre as alternativas, aquela que apresenta dois compostos imiscíveis entre si.

Partindo da prerrogativa que “semelhante dissolve semelhante”, podemos afirmar que compostos de polaridade parecidas devem formar misturas homogêneas.

O etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) e a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), por exemplo, são compostos polares e, portanto, solúveis entre si. O mesmo ocorre com o sistema formado por etanol e acetona ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ).

A gasolina (mistura de hidrocarbonetos de 6 a 10 átomos de carbono) e o benzeno ( $C_6H_6$ ) constituem substâncias de elevado caráter apolar e, portanto, são solúveis entre si. O mesmo ocorre com o sistema formado por gasolina e querosene (mistura de hidrocarbonetos de 12 a 16 átomos de carbono).

Já a água e a gasolina são compostos de polaridade opostas. Como já discutimos, a água é polar enquanto a gasolina tem caráter apolar. Neste caso, os compostos apresentam baixa afinidade entre si e sua mistura resultará em um sistema heterogêneo, onde as fases da água e da gasolina poderão ser facilmente visualizadas. Portanto, **alternativa C**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

#### ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 46 - CADERNO AZUL

Em sua formulação, o *spray* de pimenta contém porcentagens variadas de oleorresina de *Capsicum*, cujo princípio ativo é a capsaicina, e um solvente (um álcool como etanol ou isopropanol). Em contato com os olhos, pele ou vias respiratórias, a capsaicina causa um efeito inflamatório que gera uma sensação de dor e ardor, levando à cegueira temporária. O processo é desencadeado pela liberação de neuropeptídeos das terminações nervosas.

Quando uma pessoa é atingida com o *spray* de pimenta nos olhos ou na pele, a lavagem da região atingida com água é ineficaz porque a

- A) reação entre etanol e água libera calor, intensificando o ardor.
- B) solubilidade do princípio ativo em água é muito baixa, dificultando a sua remoção.
- C) permeabilidade da água na pele é muito alta, não permitindo a remoção do princípio ativo.
- D) solubilização do óleo em água causa um maior espalhamento além das áreas atingidas.
- E) ardência faz evaporar rapidamente a água, não permitindo que haja contato entre o óleo e o solvente.

### RESPOSTA COMENTADA

Como a própria denominação sugere, as oleoresinas (óleo + resina) presentes no *spray* de pimenta são constituídas por moléculas lipofílicas, isto é, que possuem afinidade por gorduras. Os compostos lipofílicos têm caráter apolar, e por isso apresentam alta solubilidade em solventes também apolares e baixa solubilidade em solventes polares (hidrofobia).

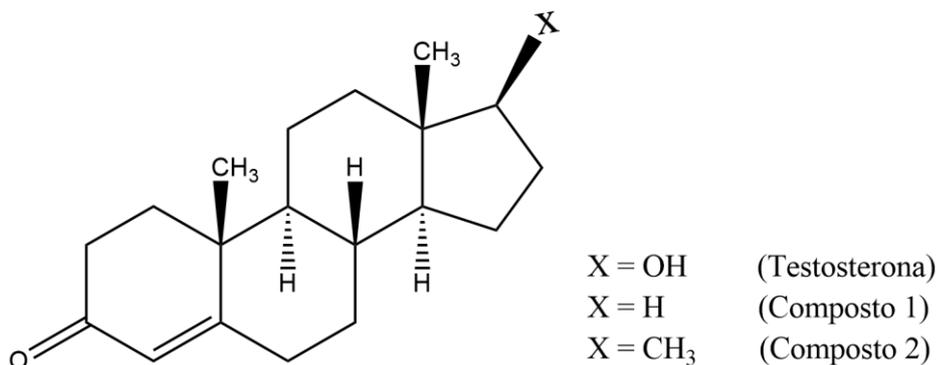
Desta forma, solventes altamente polares, como a água, não conseguem solubilizar e conseqüentemente remover as oleoresinas dos olhos ou da pele, tornando a lavagem dessas áreas com água uma prática ineficaz na remoção do princípio ativo. **Alternativa B.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 81 - CADERNO AZUL

A lipofilia é um dos fatores fundamentais para o planejamento de um fármaco. Ela mede o grau de afinidade que a substância tem com ambientes apolares, podendo ser avaliada por seu coeficiente de partição.



NOGUEIRA, L. J.; MONTANARI, C. A.; DONNICI, C. L. Histórico da evolução da química medicinal e a importância da lipofilia: de Hipócrates e Galeno a Paracelsus e as contribuições de Overton de Hansch. *Revista Virtual de Química*, n. 3, 2009 (adaptado).

Em relação ao coeficiente de partição da testosterona, as lipofilias dos compostos 1 e 2 são, respectivamente

- A) menor e menor que a lipofilia da testosterona.
- B) menor e maior que a lipofilia da testosterona.
- C) maior e menor que a lipofilia da testosterona.
- D) maior e maior que a lipofilia da testosterona.
- E) menor e igual à lipofilia da testosterona.

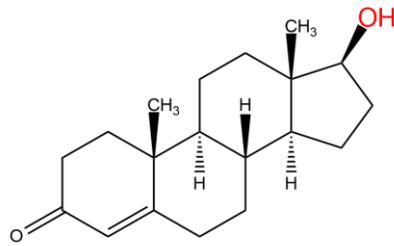
### RESPOSTA COMENTADA

A afinidade das moléculas por ambientes apolares (lipofilia) depende de diversos fatores como tamanho da cadeia carbônica, quantidade e tipos de grupos funcionais presentes. Ignorando a natureza do substituinte “X”, é possível destacar que a estrutura representada no enunciado da questão, apresenta grande lipofilia, uma vez que, possui uma longa cadeia hidrocarbônica de caráter apolar.

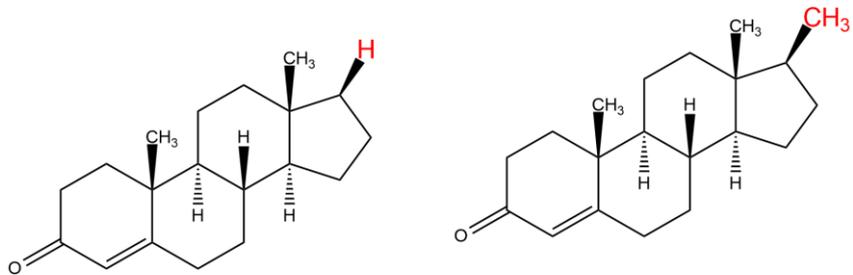
A substituição do grupo “X” pela hidroxila (-OH) resulta na molécula de testosterona. Considerando as propriedades físico-químicas, essa substituição deve atuar no sentido de diminuição da lipofilia. Isso acontece porque a hidroxila é um grupo polar e, portanto, deve aumentar a afinidade da molécula em meios polares (tornando-a mais hidrofílica), o que acarreta na diminuição da afinidade da molécula por gorduras.

Já substituição do grupo “X” pelo átomo de hidrogênio (-H) ou pelo grupo metila (-CH<sub>3</sub>) resulta nos compostos 1 e 2, respectivamente. Ambas substituições levam a formação de hidrocarbonetos, que são moléculas de elevado caráter apolar. Devido à ausência de grupos polares em sua estrutura, os compostos 1 e 2 devem ser mais lipofílicos que a testosterona.

Abaixo representamos as estruturas moleculares da testosterona e dos compostos 1 e 2:



Testosterona



Composto 1

Composto 2

**Figura 80:** estrutura molecular da testosterona, composto 1 e composto 2.

Portanto, os compostos 1 e 2 possuem maior lipofilia que a testosterona. **Alternativa D.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 114 - CADERNO AZUL

A absorção e o transporte de substâncias tóxicas em sistemas vivos dependem da facilidade com que estas se difundem através das membranas das células. Por apresentarem propriedades químicas similares, testes laboratoriais empregam o octan-1-ol como modelo da atividade das membranas. A substância a ser testada é adicionada a uma mistura bifásica do octan-1-ol com água, que é agitada e, ao final, é medido o coeficiente de partição octan-1-ol:água ( $K_{oa}$ ):

$$K_{oa} = \frac{C_{oct}}{C_a},$$

em que  $C_{oct}$  é a concentração da substância na fase octan-1-ol, e  $C_a$  a concentração da substância na fase aquosa.

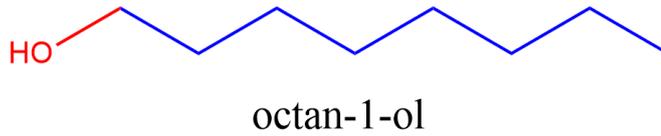
Foram avaliados cinco poluentes de sistemas aquáticos: benzeno, butano, éter dietílico, fluorobenzeno e metanol.

O poluente que apresentou  $K_{oa}$  tendendo a zero é o

- A) éter dietílico
- B) fluorobenzeno
- C) benzeno
- D) metanol
- E) butano

### RESPOSTA COMENTADA

O octan-1-ol ( $C_8H_{18}O$ ) é uma substância de elevado caráter **apolar** devido a sua longa cadeia hidrocarbônica (composta exclusivamente por átomos de carbono e hidrogênio). A discreta presença de apenas um grupo hidroxila não é capaz de conferir significativa polaridade à molécula. Na figura abaixo apresentamos a estrutura molecular do octan-1-ol:



**Figura 81:** estrutura molecular do octan-1-ol.

Enquanto isso, a água (H<sub>2</sub>O), como sabemos, é uma substância **altamente polar**.

Partindo do princípio básico que “semelhante dissolve semelhante”, uma mistura de octan-1-ol e água resultará em um sistema heterogêneo bifásico. Isso significa que, por serem insolúveis, a mistura apresentará duas fases distintas.

Quando adicionarmos uma nova substância a essa mistura bifásica, ela deve ficar mais concentrada na fase aquosa (H<sub>2</sub>O) ou na fase orgânica (octan-1-ol), dependendo de sua polaridade. Substâncias polares devem migrar para fase aquosa enquanto que substâncias apolares devem migrar para fase orgânica.

A expressão que representa o coeficiente de partição da substância no sistema octan-1-ol : água (K<sub>oa</sub>) é:

$$K_{oa} = \frac{C_{oct}}{C_a}$$

Concentração da substância na fase octan-1-ol

Concentração da substância na fase aquosa

A análise desta equação matemática nos permite inferir que, para que o coeficiente de partição tenda a zero, o numerador (C<sub>oct</sub>) deve ser o menor possível, enquanto o denominador (C<sub>a</sub>) deve ser o maior possível. Dessa forma, a substância adicionada deve apresentar o mínimo de

solubilidade em octan-1-ol e o máximo de solubilidade em água, ou seja, a substância adicionada deve ser **polar**.

Entre as alternativas disponíveis, o **metanol** é a substância mais polar. Sua cadeia carbônica é extremamente pequena, contendo apenas um átomo de carbono. A molécula apresenta uma hidroxila (-OH), grupo capaz de formar fortes ligações de hidrogênio com as moléculas de água. De fato, água e metanol, são infinitamente solúveis entre si. Portanto, **alternativa D**.

Abaixo apresentamos a estrutura molecular do metanol:



**Figura 82:** estrutura molecular do metanol.

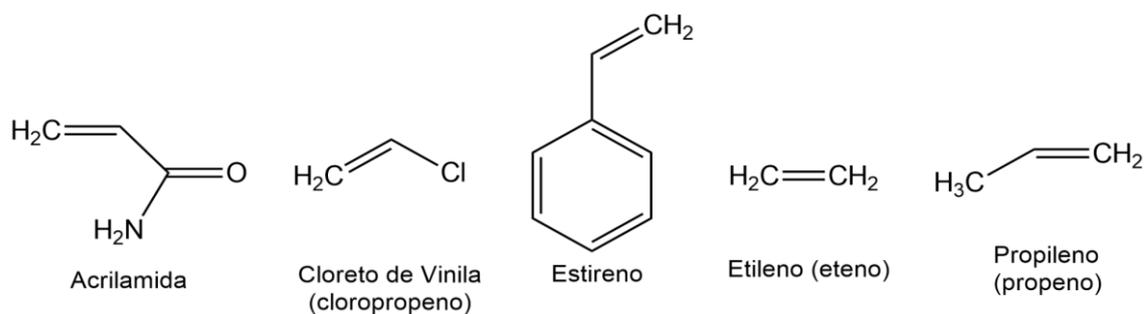
Os demais compostos apresentados nas alternativas são hidrocarbonetos apolares (butano e benzeno) ou compostos de baixa polaridade (éter dietílico e fluorobenzeno) que não apresentam solubilidade em água.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 120 - CADERNO AZUL

Os polímeros são materiais amplamente utilizados na sociedade moderna, alguns deles na fabricação de embalagens e filmes plásticos, por exemplo. Na figura estão relacionadas as estruturas de monômeros na produção de polímeros de adição comuns.

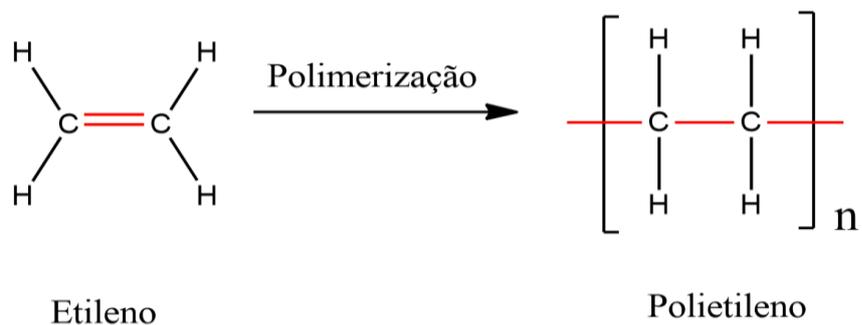


Dentre os homopolímeros formados a partir dos monômeros da figura, aquele que apresenta solubilidade em água é

- A) polietileno.
- B) poliestireno.
- C) polipropileno.
- D) poliacrilamida.
- E) policloreto de vinila.

### RESPOSTA COMENTADA

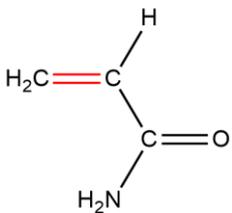
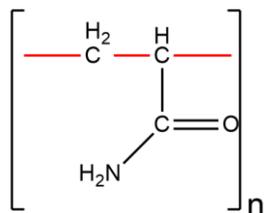
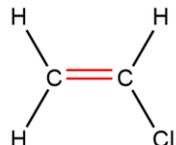
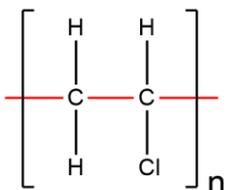
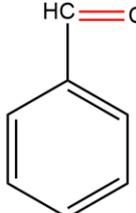
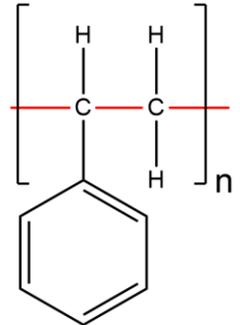
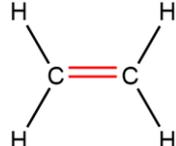
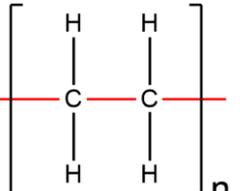
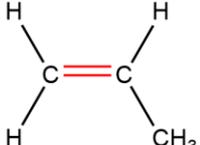
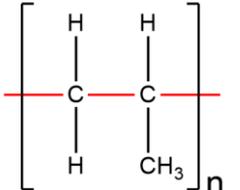
Os polímeros são macromoléculas formadas a partir da união de moléculas menores, chamadas de monômeros. Os polímeros de adição, como o próprio nome sugere, são formados a partir da adição de monômeros iguais. Como exemplo, abaixo apresentamos a equação de formação do polietileno, a partir da adição de monômeros de etileno.



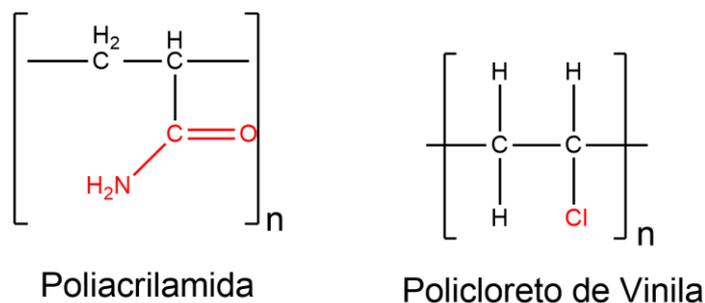
**Figura 83:** exemplo de polimerização por adição utilizando o etanol.

A questão pede para encontrar entre os monômeros de adição apresentados, aquele que formará um polímero de adição solúvel em água. Para isso, inicialmente definimos quais foram os polímeros formados a partir de cada monômero (ver tabela abaixo) e depois discutimos suas respectivas solubilidades em meio aquoso.

**Tabela:** polímeros formados a partir de cada monômero.

Monômero	Polímero
 <p data-bbox="582 593 742 638">Acrilamida</p>	 <p data-bbox="901 593 1109 638">Poliacrilamida</p>
 <p data-bbox="534 851 782 929">Cloro de Vinila (cloropropeno)</p>	 <p data-bbox="869 884 1157 929">Policloro de Vinila</p>
 <p data-bbox="550 1209 766 1288">Estireno (vinil-benzeno)</p>	 <p data-bbox="893 1310 1077 1355">Poliestireno</p>
 <p data-bbox="598 1556 718 1635">Etileno (eteno)</p>	 <p data-bbox="933 1601 1101 1646">Polietileno</p>
 <p data-bbox="582 1848 734 1926">Propileno (propeno)</p>	 <p data-bbox="909 1904 1109 1948">Polipropileno</p>

Analisando as estruturas dos polímeros é possível verificar que o poliestireno, o polietileno e o polipropileno são hidrocarbonetos, ou seja, polímeros que apresentam apenas átomos de carbono e hidrogênio em sua composição. Assim, eles devem possuir caráter apolar, apresentando pouca ou nenhuma solubilidade em solventes polares como a água. Já o policloreto de vinila e a poliacrilamida possuem grupos polares em suas estruturas moleculares, como destacado na figura abaixo:



**Figura 84:** poliacrilamida e policloreto de vinila, destacando seus grupos polares amida e cloro, respectivamente.

Porém, esses polímeros apresentam solubilidades distintas em meio aquoso. Enquanto o policloreto de vinila interage com moléculas de água por meio de interações do tipo dipolo-dipolo, a poliacrilamida interage com moléculas de água por meio de interações mais intensas.

Os grupos  $-\text{CONH}_2$  da poliacrilamida são altamente polares devido a presença dos átomos de oxigênio e nitrogênio, que são muito eletronegativos. Além disso, o fato da macromolécula possuir diversos átomos de hidrogênio ligados a átomos de nitrogênio garante a possibilidade de formação de inúmeras ligações de hidrogênio entre esse polímero e as moléculas de água. Essas interações são muito mais fortes que as dipolo-dipolo e garantem a solubilidade da poliacrilamida na água. **Alternativa D.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 96 - CADERNO AZUL

Para serem absorvidos pelas células do intestino humano, os lipídios ingeridos precisam ser primeiramente emulsificados. Nessa etapa da digestão, torna-se necessária a ação dos ácidos biliares, visto que os lipídios apresentam uma natureza apolar e são insolúveis em água.

Esses ácidos atuam no processo de modo a

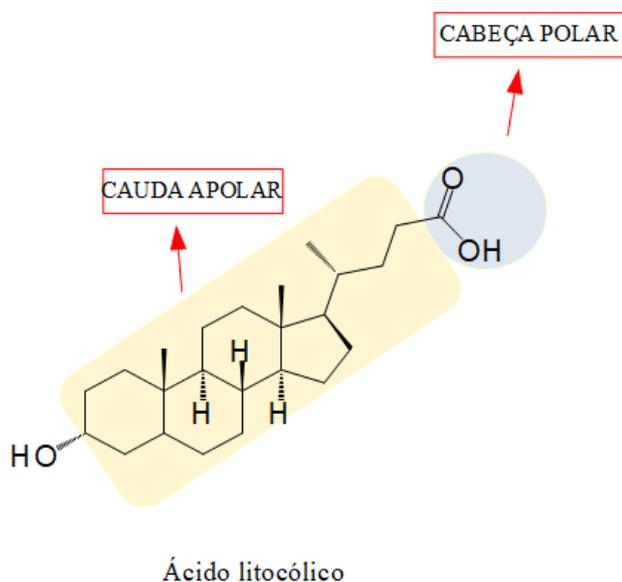
- A) hidrolisar os lipídios
- B) agir como detergentes.
- C) tornar os lipídios anfifílicos.
- D) promover a secreção de lipases.
- E) estimular o trânsito intestinal dos lipídios.

### RESPOSTA COMENTADA

Para serem absorvidos pelas células do intestino, os lipídeos precisam, previamente, serem solubilizados em água. Porém, devido à baixa polaridade dessas gorduras, a solubilização só é possível na presença de um agente emulsionante, como os ácidos biliares. Os ácidos biliares

são capazes de formar uma suspensão de partículas de lipídios na água devido ao fato de apresentarem, simultaneamente, características hidrofílicas e hidrofóbicas.

As moléculas dos ácidos biliares possuem em sua estrutura uma parte polar (cabeça) e uma parte apolar (cauda), como apresentado na figura abaixo.

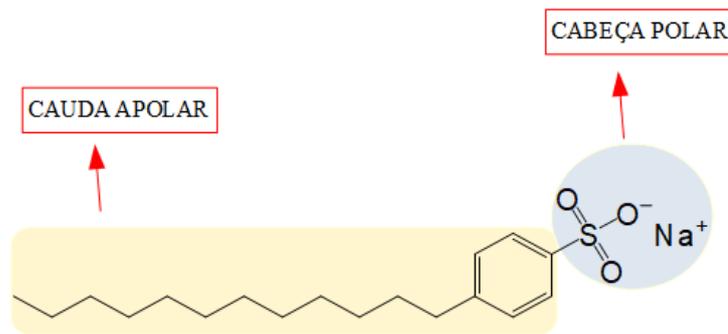


**Figura 85:** exemplo de uma molécula orgânica constituinte dos ácidos biliares.

A cauda apolar é composta, predominantemente, por hidrocarbonetos de cadeia longa, e portanto, é capaz de interagir bem com gorduras. Enquanto isso, a cabeça polar tem como característica a presença do grupo funcional ácido carboxílico e é capaz de interagir bem com a água. Esse caráter anfifílico dos ácidos biliares torna possível a emulsão de gorduras em meio aquoso.

O mesmo comportamento anfifílico é também observado para moléculas de detergente, que conseguem interagir com água e também com a gordura, fato que garante sua capacidade de limpeza. As moléculas detergentes possuem uma cauda apolar (cadeia alquílica longa) e uma extremidade polar (sal de ácido sulfônico). Abaixo, mostramos a estrutura do princípio ativo mais utilizado em formulações de detergentes, o *para*-dodecilbenzeno sulfonato de sódio.

Observe que a estrutura molecular e o modo de ação desse detergente são similares à atuação das moléculas dos ácidos biliares. **Alternativa B.**



**Figura 86:** exemplo da estrutura do *para*-dodecilbenzeno sulfonato de sódio



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2018 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 134 - CADERNO AZUL

Em derramamentos de óleo no mar, os produtos conhecidos como “dispersantes” são usados para reduzir a tensão superficial do petróleo derramado, permitindo que o vento e as ondas “quebrem” a mancha em gotículas microscópicas. Estas são dispersadas pela água do mar antes que a mancha de petróleo atinja a costa. Na tentativa de fazer uma reprodução do efeito desse produto em casa, um estudante prepara um recipiente contendo água e gotas de óleo de soja. Há disponível apenas azeite, vinagre, detergente, água sanitária e sal de cozinha.

Qual dos materiais disponíveis provoca uma ação semelhante à situação descrita:

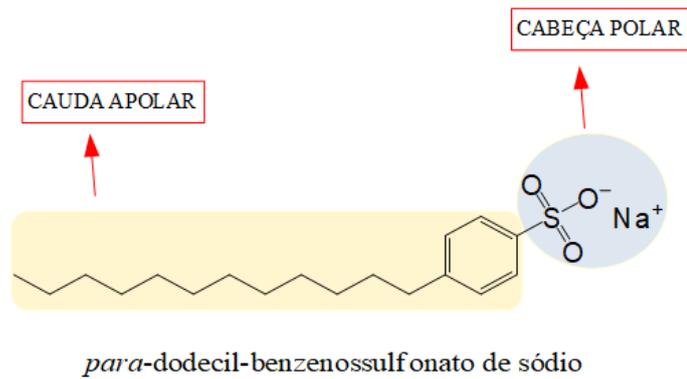
- A) Azeite.
- B) Vinagre.
- C) Detergente.
- D) Água sanitária.
- E) Sal de cozinha.

### RESPOSTA COMENTADA

Na reprodução do experimento, a mistura de água e gotas de óleo deve resultar em um sistema bifásico, onde as gotas de óleo ficam na superfície da água. Isso ocorre porque a água é polar, enquanto o óleo é uma substância apolar. Um dispersante ideal para esta mistura deve ter caráter **anfifílico**, ou seja, possuir a capacidade de interação com substâncias apolares, e também com substâncias polares.

Entre os produtos apresentados o único que possui comportamento anfifílico é o **detergente**. As moléculas de detergente apresentam uma cabeça polar (geralmente constituída por um sal de ácido sulfônico,  $\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ ) e uma cauda apolar constituída por uma longa cadeia alquílica. A parte polar da molécula do detergente garante a interação com a água enquanto a parte apolar garante a interação com as gotas de óleo. Dessa forma o dispersante consegue provocar a emulsificação, ou seja a solubilização do óleo na água.

Abaixo destacamos a estrutura de um dos princípios ativos mais utilizados na fabricação de detergente, o *para*-dodecilbenzeno sulfonato de sódio,. Observe a presença da “cabeça” polar e da “cauda” apolar que garantem a anfipatia da molécula.



**Figura 87:** molécula do detergente, destacando o caráter anfifílico.

Portanto, o detergente é capaz de provocar uma ação semelhante ao comportamento dos dispersantes. **Alternativa C.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2019 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 134 - CADERNO AZUL

Em um laboratório de química foram encontrados cinco frascos não rotulados, contendo: propanona, água, tolueno, tetracloreto de carbono e etanol. Para identificar os líquidos presentes nos frascos, foram feitos testes de solubilidade e inflamabilidade. Foram obtidos os seguintes resultados:

- Frascos 1, 3 e 5 contêm líquidos miscíveis entre si;
- Frascos 2 e 4 contêm líquidos miscíveis entre si;
- Frascos 3 e 4 contêm líquidos não inflamáveis.

Com base nesses resultados, pode-se concluir que a água está contida no frasco

- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) 4
- E) 5

### RESPOSTA COMENTADA

Sabemos que a água é uma substância não inflamável, o que nos permite inferir que ela deve estar contida no frasco **3 ou no frasco 4**. Para facilitar nossa escolha, determinamos a polaridade dos compostos citados no enunciado, e apresentamos na forma de tabela:

**Tabela 2:** polaridade dos compostos.

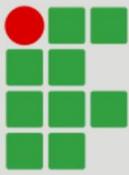
Substância	Polaridade
Propanona (acetona)	Polar
Água	Polar
Tolueno (metil-benzeno)	Apolar
Tetracloroeto de carbono	Apolar
Etanol	Polar

Considerando as regras de solubilidade que partem da premissa que “semelhante dissolve semelhante” é possível inferir que as substâncias polares (propanona, água e acetona) devem ser solúveis em si, enquanto o mesmo ocorre entre as substâncias apolares (tetracloroeto de carbono deve ser solúvel em tolueno).

Como o resultado do primeiro teste apontou que os líquidos 1, 3 e 5 são miscíveis entre si, seus frascos devem conter as substâncias propanona, água e etanol (não necessariamente nesta ordem). Dessa forma, não existe possibilidade da água estar contida no frasco 4, devendo, portanto, estar no frasco 3. **Alternativa C.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma Youtube.

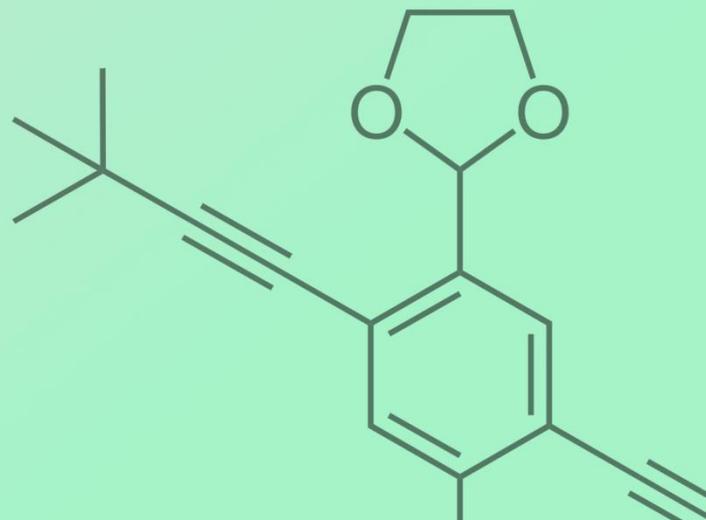


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Isomeria espacial*

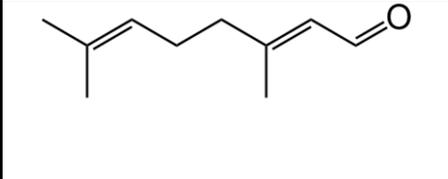
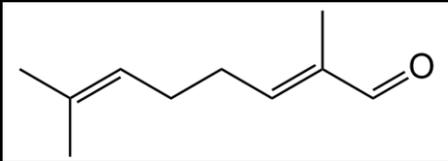
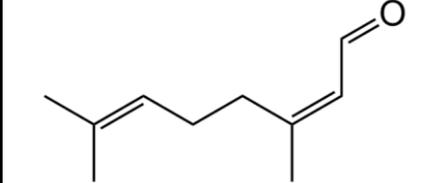
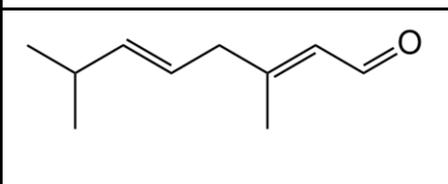
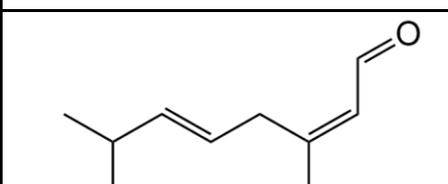


## 14-ISOMERIA ESPACIAL

### ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 58 - CADERNO AZUL

O citral, substância de odor fortemente cítrico, é obtido a partir de algumas plantas como o capim-limão, cujo óleo essencial possui aproximadamente 80%, em massa, da substância. Uma de suas aplicações é na fabricação de produtos que atraem abelhas, especialmente do gênero *Apis*, pois seu cheiro é semelhante a um dos feromônios liberados por elas. Sua fórmula molecular é  $C_{10}H_{16}O$ , com uma cadeia alifática de oito carbonos, duas insaturações, nos carbonos 2 e 6; e dois grupos substituintes metila, nos carbonos 3 e 7. O citral possui dois isômeros geométricos, sendo o *trans* o que mais contribui para o forte odor.

Para que se consiga atrair um maior número de abelhas para uma determinada região, a molécula que deve estar presente em alta concentração no produto a ser utilizado é:

A)	
B)	
C)	
D)	
E)	

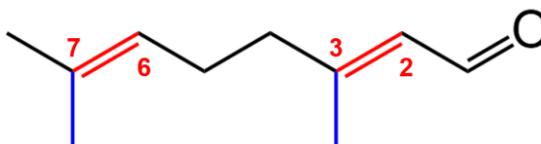
## RESPOSTA COMENTADA

O citral apresenta as seguintes características:

- fórmula molecular  $C_{10}H_{16}O$ ;
- cadeia alifática, ou seja, cadeia aberta;
- duas ligações duplas  $C=C$ , nos carbonos 2 e 6;
- dois grupos substituintes metila ( $-CH_3$ ), nos carbonos 3 e 7;
- o isômero *trans* é o que mais contribui para o forte odor.

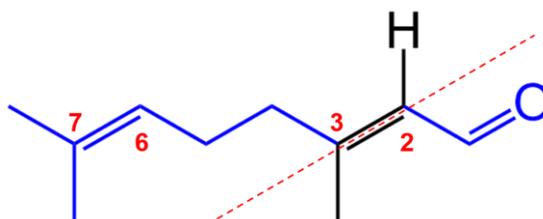
A analisando as alternativas indicadas:

Na alternativa A, temos a estrutura de um composto cuja fórmula molecular é  $C_{10}H_{16}O$ ; as duas ligações duplas da cadeia estão situadas nos carbonos 2 e 6; existem duas ramificações metila nos carbonos 3 e 7; e a ligação dupla entre  $C_2$  e  $C_3$  apresenta geometria do tipo *trans*. Portanto, a descrição é adequada para molécula de citral. A seguir destacamos a numeração dos carbonos da cadeia, a localização dos grupos metila e das ligações duplas da molécula apresentada na alternativa A.



**Figura 88:** Estrutura da molécula A, com destaque para as insaturações  $C_2=C_3$  e  $C_6=C_7$ , além das ramificações metila.

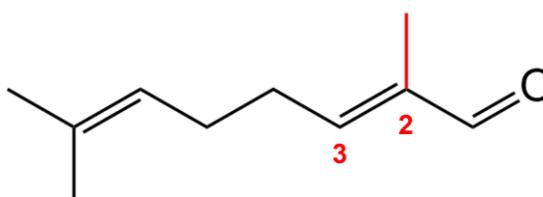
Abaixo, destacamos ainda, a geometria *trans* da ligação dupla  $C_2=C_3$ . Observe que os grupos de maior prioridade de cada carbono da dupla (destaque em vermelho) encontram-se em lados opostos, se considerarmos uma linha imaginária cortando a ligação dupla no sentido horizontal:



**Figura 89:** Estrutura da molécula A, destacando a geometria *trans* da ligação dupla  $C_2=C_3$ .

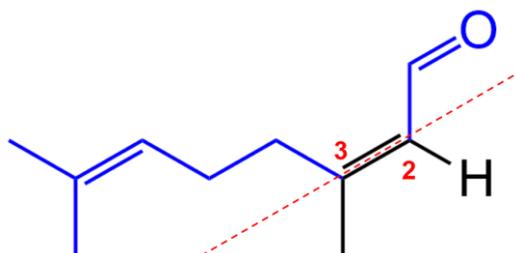
Vejamos ainda por que as demais alternativas estão incorretas:

A molécula apresentada na alternativa B apresenta ramificação metil em  $C_2$  e não em  $C_3$ , como solicitado.



**Figura 90:** Estrutura da molécula B.

A molécula apresentada na alternativa C apresenta geometria do tipo *cis* em  $C_2=C_3$ . Os grupos de maior prioridade encontram-se no mesmo lado, considerando um plano imaginário que corta a ligação dupla no sentido horizontal. Portanto, não corresponde a molécula do citral.



**Figura 91:** Estrutura da molécula C, destacando a geometria *cis* da ligação dupla  $C_2=C_3$ .

A molécula apresentada na alternativa D possui duas ligações duplas da cadeia, situadas nos carbonos 2 e 5 e não nos carbonos 2 e 6, como requerido.

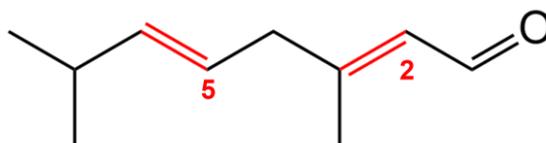


Figura 92: Estrutura da molécula D.

A molécula apresentada na alternativa E possui duas ligações duplas da cadeia, situadas nos carbonos 2 e 5 e não nos carbonos 2 e 6. Além disso, apresenta geometria do tipo *cis* na ligação dupla  $C_2=C_3$ . Portanto, não corresponde a molécula do citral.

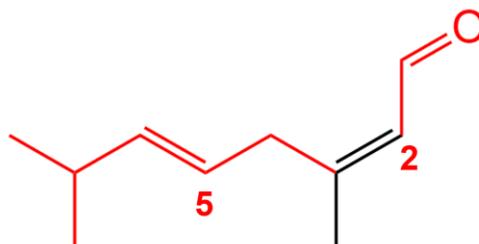


Figura 93: Estrutura da molécula E.

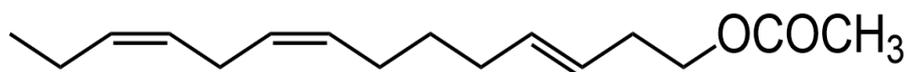
Assim, a partir das alternativas analisadas, a **alternativa A** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2016 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 71 - CADERNO BRANCO**

A busca por substâncias capazes de minimizar a ação do inseto que ataca as plantações do tomate no Brasil levou à síntese e ao emprego de um feromônio sexual com a seguinte fórmula estrutural:



Uma indústria agroquímica necessita sintetizar um derivado com maior eficácia. Para tanto, o potencial substituto deverá preservar as seguintes propriedades estruturais do feromônio sexual: função orgânica, cadeia normal e a isomeria geométrica original.

A fórmula estrutural do substituto adequado ao feromônio sexual obtido industrialmente é:

A)	
B)	
C)	
D)	
E)	

## RESPOSTA COMENTADA

O composto substituto do feromônio deve manter as seguintes características:

- Função orgânica

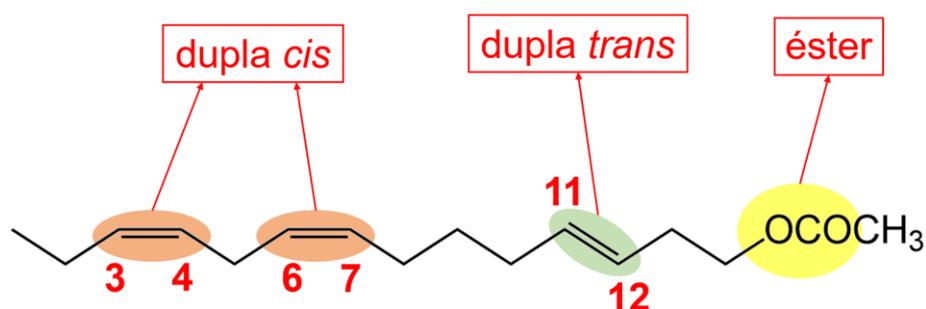
O feromônio sexual original possui a função orgânica éster (R-O-CO-R').

- Cadeia normal

O feromônio sexual original possui cadeia normal, ou seja, sem ramificações.

- Isomeria original

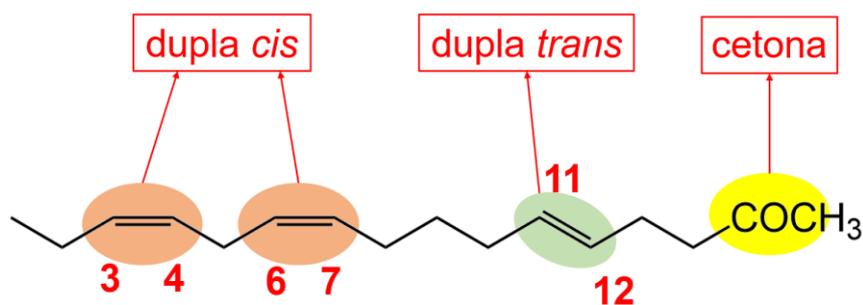
O feromônio sexual original possui isomeria espacial geométrica. A ligação dupla em C<sub>11</sub> possui geometria *trans*, ao passo que, as ligações duplas de C<sub>3</sub> e C<sub>6</sub> tem geometria *cis*.



**Figura 94:** Estrutura do feromônio sexual destacando suas características isoméricas *cis* e *trans* e sua função orgânica.

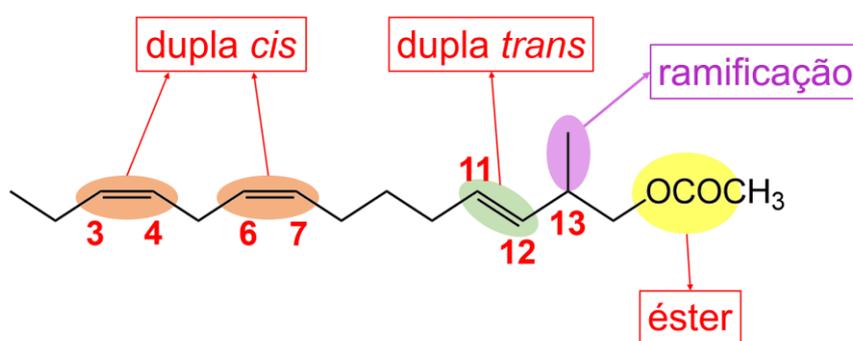
Vamos então analisar cada uma das alternativas, verificando a presença das características já mencionadas.

A molécula apresentada na alternativa A apresenta um grupo funcional do tipo cetona (R-CO-R'). Logo, a alternativa está incorreta, pois não manteve a função orgânica éster do feromônio original.



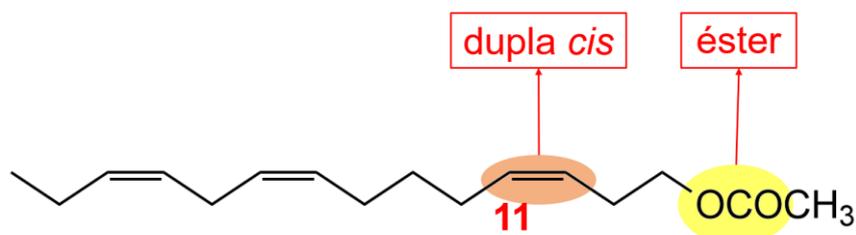
**Figura 95:** Estrutura do composto destacando suas características isoméricas *cis* e *trans* e sua função do tipo cetona.

A molécula apresentada na alternativa B possui o grupo funcional éster, e apresenta também a mesma isomeria geométrica, entretanto, possui uma ramificação em C<sub>13</sub>, por isso não mantém a cadeia normal. Assim, a alternativa está incorreta.



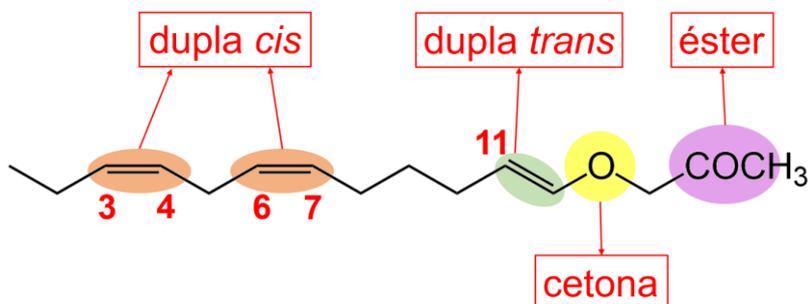
**Figura 95:** Estrutura do composto que com destaque à sua ramificação em sua cadeia, além das insaturações e função éster.

A molécula apresentada na alternativa C possui a função orgânica éster e apresenta uma cadeia sem a presença de ramificações, todavia não mantém a mesma isomeria original já que a ligação dupla de C<sub>11</sub> tem geometria *cis* e não *trans*, como esperado. Portanto, também é incorreta.



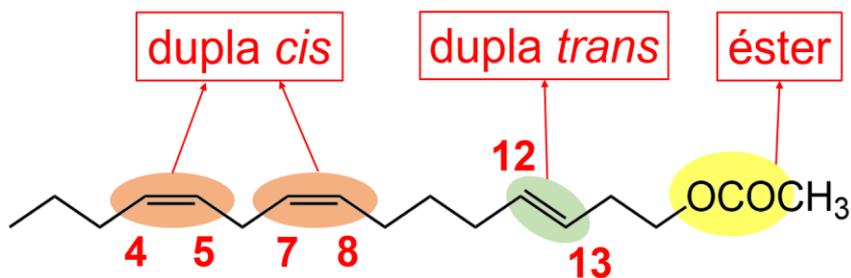
**Figura 96:** Estrutura da molécula indicada com destaque a insaturação *cis* no C<sub>11</sub> e sua função éster.

A molécula apresentada na alternativa D conserva a isomeria original e a cadeia carbônica com ausência de ramificações. Contudo, temos apenas a presença das funções orgânicas do tipo éter (R-O-R') e também do tipo cetona (R-CO-R'). Assim essa alternativa é incorreta, pois não preserva a função orgânica original, éster.



**Figura 97:** Fórmula estrutural do composto destacando suas insaturações isoméricas e suas funções orgânicas cetona e éster.

Finalmente, na molécula representada pela alternativa E, podemos verificar a permanência da função orgânica éster, uma cadeia linear, isto é, sem ramificações, e ainda a mesma isomeria do feromônio original. De fato, para sintetizar um derivado do feromônio sexual com maior eficácia, deve-se utilizar essa fórmula estrutural.



**Figura 98:** Estrutura do composto que conserva as estruturas isoméricas, cadeia e função orgânica do feromônio original.

Portanto a **alternativa E** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

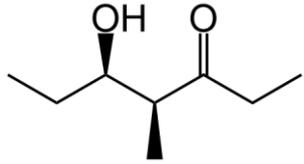
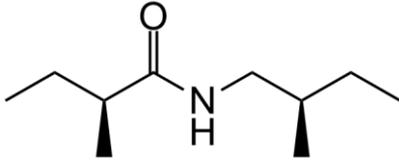
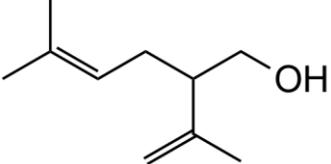
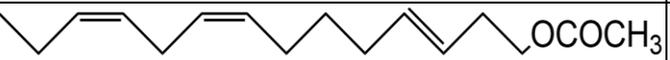
**ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 52 - CADERNO AZUL**

Os feromônios são substâncias utilizadas na comunicação entre indivíduos de uma espécie. O primeiro feromônio isolado de um inseto foi o bombicol, substância produzida pela mariposa do bicho-da-seda.



**Bombicol**

O uso de feromônios em ações de controle de insetos-praga está de acordo com o modelo preconizado para a agricultura do futuro. São agentes altamente específicos e seus compostos químicos podem ser empregados em determinados cultivos, conforme ilustrado no quadro.

Substância	Inseto	Cultivo
	<i>Sitophilus spp.</i>	Milho
	<i>Migdolus fryanus.</i>	Cana-de-açúcar
	<i>Anthonomus rubi.</i>	Morango
	<i>Grapholita molesta.</i>	Frutas
	<i>Scrobipalpuloides absoluta.</i>	Tomate

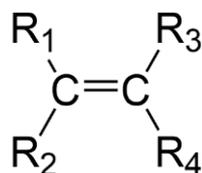
FERREIRA, J.T.B.; ZARBIN, P. H. G. Amor ao primeiro odor: a comunicação química entre insetos. *Química Nova na Escola*. n.7, maio 1998 (adaptado).

Considerando essas estruturas químicas, o tipo de estereoisomeria apresentada pelo bombicol é também apresentada pelo feromônio utilizado no controle do inseto

- A) *Sitophilus spp.*
- B) *Migdolus fryanus.*
- C) *Anthonomus rubi.*
- D) *Grapholita molesta.*
- E) *Scrobipalpuloides absoluta.*

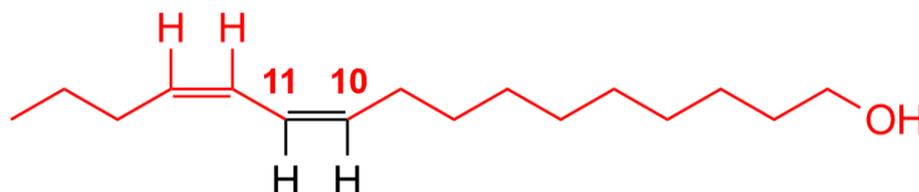
## RESPOSTA COMENTADA

Para a existência de isomeria geométrica em uma determinada molécula alifática, é necessária a presença de pelo menos uma ligação dupla, C=C. Além disso, cada um dos carbonos da dupla deve apresentar ligantes diferentes entre si, ou seja,  $R_1 \neq R_2$  e  $R_3 \neq R_4$ .



**Figura 99:** condição de existência para isomeria *cis/trans* em compostos alifáticos.

O bombicol possui duas ligações C=C e os grupos substituintes nos respectivos carbonos da dupla são diferentes, ou seja,  $R_1 \neq R_2$  e  $R_3 \neq R_4$ .



**Figura 100:** Estrutura do bombicol destaque aos grupos substituintes na insaturação dos carbonos  $C_{10}=C_{11}$ .

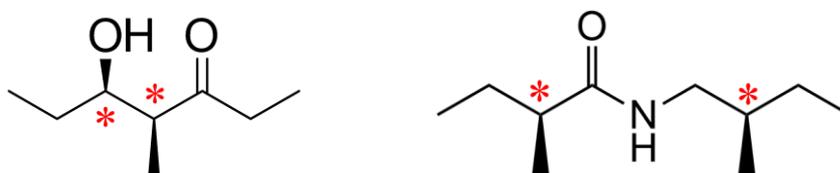


**Figura 101:** Estrutura do bombicol destaque aos grupos substituintes na insaturação dos carbonos  $C_{12}=C_{13}$ .

A partir disso, nosso desafio é encontrar uma molécula que também possua isomeria geométrica do tipo *cis*, assim como o Bombicol.

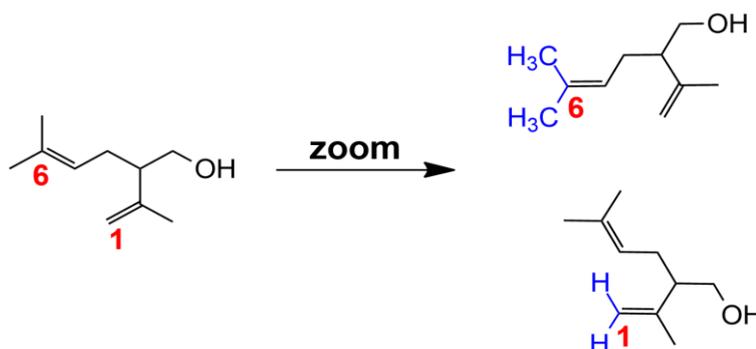
Por eliminação, podemos descartar os feromônios utilizados para controle dos insetos *Grapholita molesta*, *Sitophilus spp* e *Migdolus fryanus* que não apresentam ligações duplas C=C em suas respectivas estruturas orgânicas, e assim, não possuem isomeria geométrica. Os

feromônios utilizados para controle dos insetos *Sitophilus spp* e *Migdolus fryanus* vão apresentar isomeria do tipo óptica, devido a presença de carbonos quirais em suas estruturas.



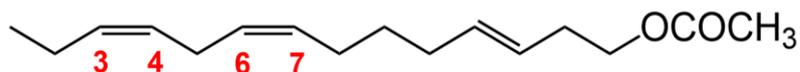
**Figura 102:** Estruturas dos feromônios dos insetos *Sitophilus spp* e *Migdolus fryanus*: os carbonos quirais estão destacados com um asterisco.

O feromônio utilizado para controle do inseto *Anthonomus rubi* apresenta duas ligações duplas em sua estrutura orgânica. Porém, é possível notar que o carbono C<sub>6</sub> não está ligado a dois grupos diferentes. O mesmo ocorre para o carbono C<sub>1</sub> que está ligado a dois grupos iguais. Por isso, não existe isomeria geométrica para molécula deste feromônio (as numerações foram colocadas de forma arbitrária).



**Figura 103:** Estrutura feromônio de controle do *Anthonomus rubi* com destaque as grupos substituintes iguais dos carbonos C<sub>1</sub> e C<sub>6</sub>.

Já o feromônio utilizado para controle do inseto *Scrobipalpuloides absoluta* possui 3 ligações duplas. Todos os carbonos envolvidos nas ligações duplas possuem substituintes diferentes entre si. Assim, esse feromônio possui isomeria geométrica *cis* nas suas insaturações dos carbonos C<sub>3</sub> e C<sub>6</sub> assim como o bombicol.



**Figura 104:** Estrutura do feromônio para controle de *Scrobipalpuloides absoluta* possuindo e conservando a isomeria geométrica do bombicol.

Portanto, verificamos que a **alternativa E**, *Scrobipalpuloides absoluta*, está correta.

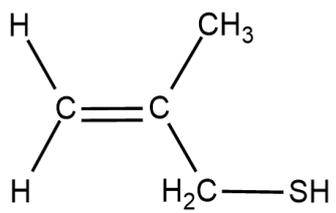
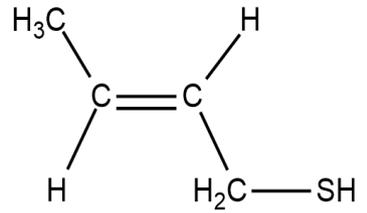
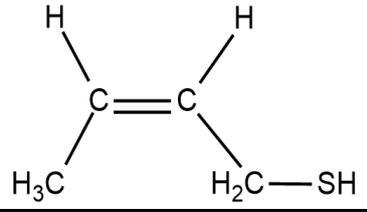
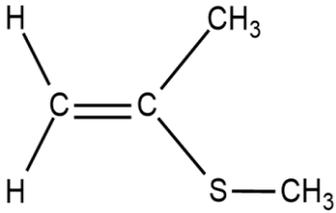
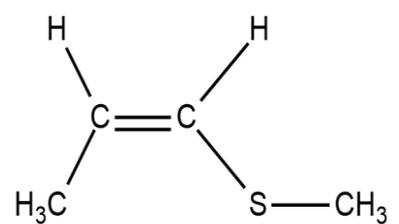


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

#### ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 128 - CADERNO AZUL

Em algumas regiões brasileiras, é comum se encontrar um animal com odor característico, o zorrilho. Esse odor serve para a proteção desse animal, afastando seus predadores. Um dos feromônios responsáveis por esse odor é uma substância que apresenta isomeria *trans* e um grupo tiol ligado à sua cadeia.

A estrutura desse feromônio, que ajuda na proteção do zorrilho, é

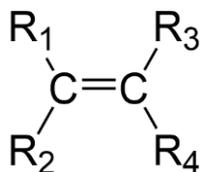
A)	
B)	
C)	
D)	
E)	

### RESPOSTA COMENTADA

A estrutura molecular do feromônio do zorrilho deve apresentar isomeria geométrica do tipo *trans* e um grupo funcional tiol (R-SH), em sua cadeia carbônica.

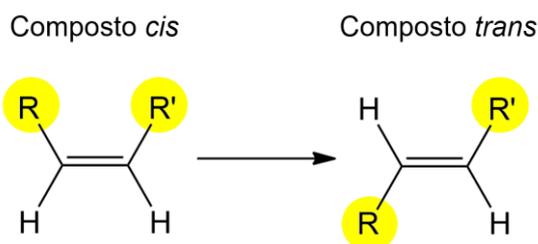
Inicialmente, precisamos recordar que, para existir isomeria geométrica em uma determinada molécula alifática, é necessária a presença de pelo menos uma ligação dupla, C=C. Além

disso, cada um dos carbonos da dupla deve apresentar ligantes diferentes entre si, ou seja,  $R_1 \neq R_2$  e  $R_3 \neq R_4$ .



**Figura 105:** condição de existência para isomeria *cis/trans* em compostos alifáticos.

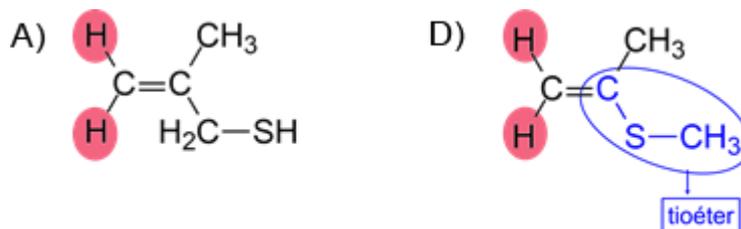
Para distinguir os isômeros geométricos, traçamos uma linha imaginária cortando horizontalmente a ligação C=C. Denominamos como *cis* o isômero em que os grupos maiores de cada átomo de carbono da ligação dupla estão no mesmo lado do plano imaginário, e chamamos de *trans* o isômero em que esses grupos estão em lados diferentes.



**Figura 106:** distinção entre isômeros *cis* e *trans*.

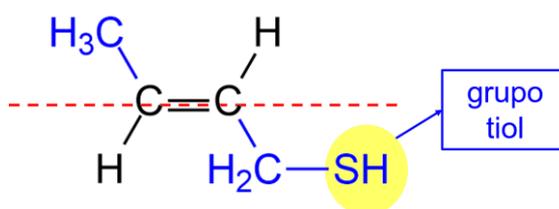
A partir de agora, já podemos analisar as estruturas e escolher qual delas possui isomeria geométrica do tipo *trans* e um grupo tiol (R-SH):

As moléculas apresentadas nas alternativas A e D estão incorretas. Elas não apresentam isomeria geométrica porque, em ambas as estruturas, os grupos substituintes de um dos carbonos da dupla são iguais entre si ( $R_1 = R_2$ ). Além disso, a molécula da alternativa D possui o grupo funcional tioéter (R-S-R') em sua cadeia, e não o grupo tiol (R-SH).



**Figura 107:** Fórmula estrutural das moléculas A e D com destaque aos grupos substituintes iguais, além da função orgânica tioéter.

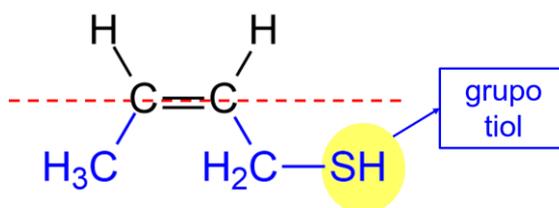
A molécula apresentada na alternativa B atende aos requisitos necessários para o feromônio do zorrilho. A sua estrutura apresenta uma ligação C=C e os ligantes de cada carbono da dupla são diferentes entre si. É possível observar que a isomeria geométrica é do tipo *trans*, já que os grupos maiores de cada átomo de carbono da ligação dupla se encontram em lados opostos. Além disso, temos também a presença do grupo funcional tiol (R-SH) na cadeia. Portanto é a alternativa correta.



**Figura 108:** Estrutura da molécula B, com destaque para a presença do grupo tiol, e para a isomeria do tipo *trans*.

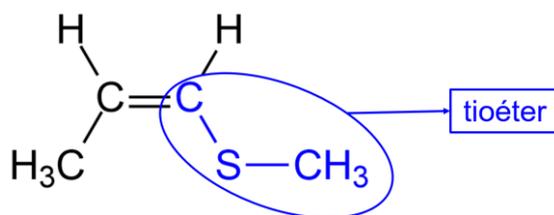
Ainda assim, vamos analisar porque as demais alternativas estão incorretas:

A molécula da alternativa C apresenta um grupo tiol ligado à cadeia carbônica e também possui isomeria geométrica. Entretanto, a isomeria é do tipo *cis*, pois os grupos substituintes maiores estão no mesmo lado, considerando um plano imaginário que corta horizontalmente a insaturação.



**Figura 109:** Estrutura da molécula C, destaque para o grupo tiol e para a isomeria *cis*.

A molécula da alternativa E apresenta isomeria geométrica. Porém não possui um grupo funcional tiol, e sim um tioéter.



**Figura 110:** Estrutura da molécula E, com destaque para a ausência do grupo tiol.

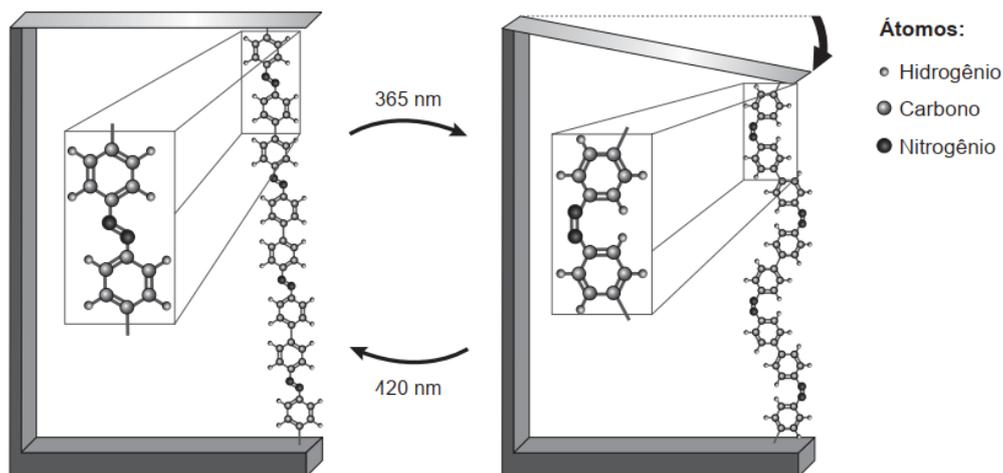
Portanto, é possível concluir que a alternativa correta, de fato, a **alternativa B**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 91 - CADERNO AZUL

Pesquisas demonstram que nanodispositivos baseados em movimentos de dimensões atômicas, induzidos por luz, poderão ter aplicações em tecnologias futuras, substituindo micromotores, sem a necessidade de componentes mecânicos. Exemplo de movimento molecular induzido pela luz pode ser observado pela flexão de uma lâmina delgada de silício, ligado a um polímero de azobenzeno e a um material suporte, em dois comprimentos de onda, conforme ilustrado na figura. Com a aplicação de luz ocorrem reações reversíveis da cadeia do polímero, que promovem o movimento observado:



TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. *Química Nova na Escola*, n.21, maio 2005 (adaptado).

O fenômeno do movimento molecular, promovido pela incidência de luz, decorre do (a)

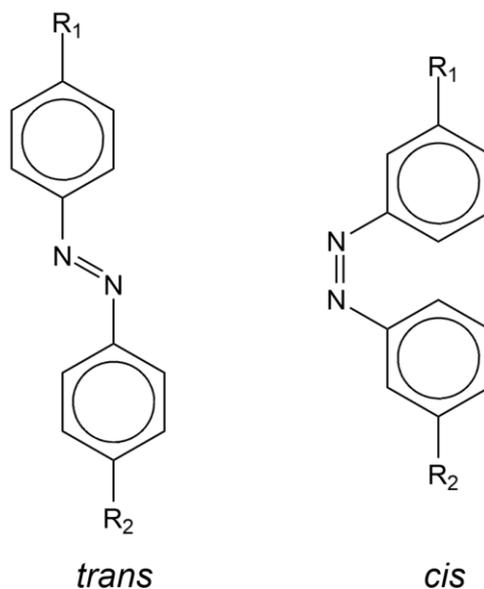
- A) movimento vibracional dos átomos, que leva a encurtamento e à relaxação das ligações.
- B) isomerização das ligações N=N, sendo a forma *cis* do polímero mais compacta que a *trans*.
- C) tautomerização das unidades monoméricas do polímero, que leva a um composto mais compacto.
- D) ressonância entre os elétrons  $\pi$  do grupo azo e os do anel aromático que encurta as ligações duplas.
- E) variação conformacional das ligações N=N, que resulta em estruturas com diferentes áreas de superfície.

### RESPOSTA COMENTADA

O polímero de azobenzeno produz um tipo de movimento molecular quando interage com a luz. Como ilustrado na figura do enunciado, esse movimento resulta da mudança na geometria espacial da ligação (N=N).

A existência da ligação dupla entre dois átomos de nitrogênio, faz com que o composto azoaromático exista como um par de isômeros geométricos: o *cis* e o *trans*. No isômero *cis*, os dois anéis aromáticos estão situados no mesmo lado do plano imaginário que corta horizontalmente a ligação N=N. Enquanto isso, no isômero *trans* os dois anéis aromáticos

estão situados em lados opostos do plano imaginário que corta horizontalmente a ligação N=N. Na figura abaixo, representamos os isômeros geométricos do azobenzeno:



**Figura 111:** Estruturas isoméricas *cis* e *trans* do composto azobenzeno.

Analisando novamente a figura disponibilizada no enunciado, é possível verificar que a irradiação de luz na faixa dos 420 nm faz com que as ligações N=N do polímero assumam a forma *trans*. Já a incidência de luz de comprimento de onda de 365nm, acarreta na conversão das ligações N=N para a geometria *cis*. Observe também que na forma *cis*, o polímero apresenta-se como uma macromolécula mais curta que na forma *trans*.

Assim, o movimento da lâmina delgada de silício pelo polímero do azobenzeno deve ocorrer devido à interconversão entre os isômeros geométricos *cis* e *trans*, provocada pela luz. Ou seja, o movimento resulta de um processo de fotoisomerização. Portanto, a **alternativa B** é a correta, isomerização das ligações N=N, sendo a forma *cis* do polímero mais compacta que a *trans*.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2018 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 112 - CADERNO AZUL

Na hidrogenação parcial de óleos vegetais, efetuada pelas indústrias alimentícias, ocorrem processos paralelos que conduzem à conversão das gorduras *cis* em *trans*. Diversos estudos têm sugerido uma relação direta entre os ácidos graxos *trans* e o aumento do risco de doenças vasculares.

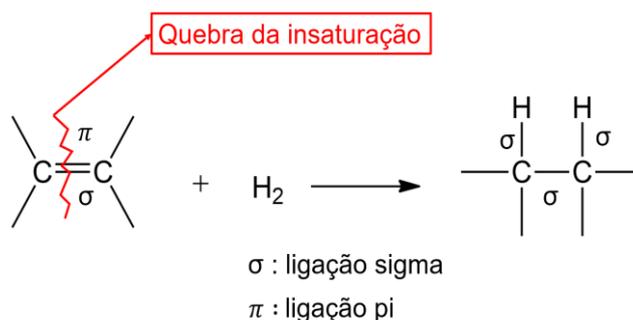
RIBEIRO, A. B. et al. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras zero e trans. *Química Nova*, n. 5 2007(adaptado).

Qual tipo de reação química a indústria alimentícia deve evitar para minimizar a obtenção desses subprodutos?

- A) adição
- B) ácido-base
- C) substituição
- D) oxirredução
- E) isomerização

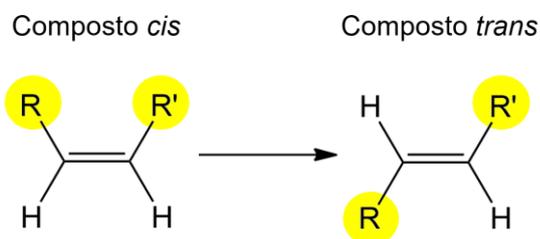
## RESPOSTA COMENTADA

As reações de hidrogenação são reações que ocorrem primordialmente entre hidrocarbonetos insaturados e gás hidrogênio ( $H_2$ ), na presença de um catalisador. No processo reacional, a molécula de  $H_2$  se adiciona aos carbonos da ligação dupla,  $C=C$ , presentes na molécula de gordura. O resultado é a quebra da ligação pi do hidrocarboneto e a formação de um composto saturado (formado exclusivamente por ligações sigma). Abaixo representamos a reação de forma genérica:



**Figura 112:** Reação de hidrogenação.

O problema é que ao realizar essa reação ocorre também, de forma paralela, a conversão de algumas ligações duplas (presentes nas gorduras) da forma *cis* para forma *trans*, como mostramos abaixo:



**Figura 113:** conversão de ligações duplas com geometria *cis* para *trans*.

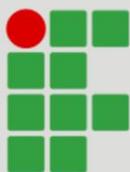
Os compostos *cis* e *trans* possuem a mesma fórmula molecular e a mesma estrutura plana. Eles diferem, porém, na disposição espacial dos grupos R e R' em relação ao lado do plano imaginário que divide a molécula ao meio.

Podemos então classificar essas moléculas como um par de isômeros geométricos. Esses isômeros vão apresentar diferentes propriedades químicas e físicas, assim como atuações distintas no meio biológico.

Uma vez que, as gorduras *trans* estão associadas ao aumento do risco de doenças vasculares, a indústria química deve evitar o processo de conversão de isômeros *cis* em *trans*. Ou seja, deve evitar a reação de isomerização para minimizar a obtenção do produto *trans*. **Alternativa E.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

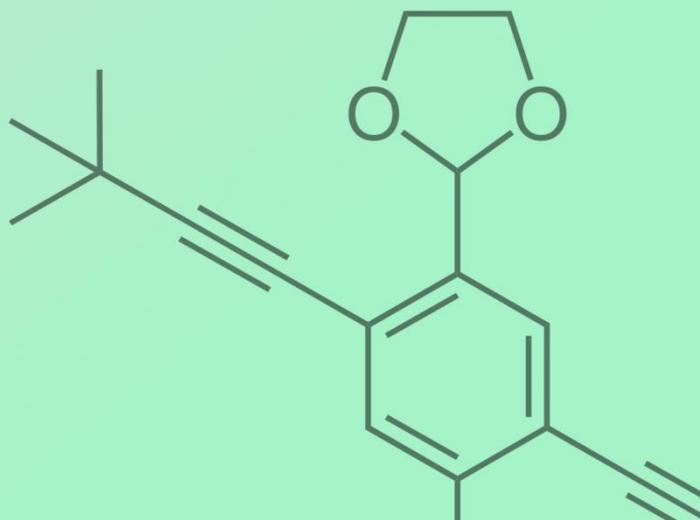


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Isomeria óptica*



## 15-ISOMERIA ÓPTICA

### ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 52 - CADERNO AZUL

A talidomida é um sedativo leve e foi muito utilizado no tratamento de náuseas, comuns no início da gravidez. Quando foi lançada, era considerada segura para o uso de grávidas, sendo administrada como uma mistura racêmica composta pelos seus dois enantiômeros (R e S). Entretanto, não se sabia, na época, que o enantiômero S leva à malformação congênita, afetando principalmente o desenvolvimento normal dos braços e pernas do bebê.

COELHO, F. A. S. Fármacos e quiralidade. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 3, maio 2001 (adaptado)

Essa malformação congênita ocorre porque esses enantiômeros

- A) reagem entre si.
- B) não podem ser separados.
- C) não estão presentes em partes iguais.
- D) interagem de maneira distinta com o organismo.
- E) são estruturas com diferentes grupos funcionais.

### RESPOSTA COMENTADA

Enantiômeros são isômeros espaciais opticamente ativos. De forma mais detalhada, constituem compostos orgânicos que possuem mesma fórmula molecular, conectividade entre os átomos e propriedades químicas, diferindo apenas na forma como interagem com a luz polarizada. Em um par de enantiômeros, uma molécula desvia a luz polarizada para direita (dextrógira), enquanto a outra desvia a luz polarizada com mesma intensidade, porém para a esquerda (levógira). Assim como um par de luvas ou de tênis, os enantiômeros são a imagem no espelho um do outro e não são sobreponíveis.

A inserção das letras *R* ou *S* antes da nomenclatura usual de um composto constitui uma forma de diferenciar as moléculas que constituem um par de enantiômeros. Uma amostra que contenha apenas o enantiômero *R* é denominada enantiomericamente pura, assim como uma amostra que contenha apenas o enantiômero *S* é também enantiomericamente pura. Uma mistura composta por 50% do enantiômero *R* e 50% do enantiômero *S* é denominada mistura racêmica.

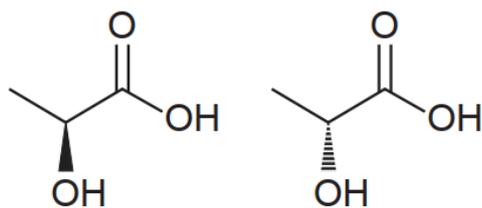
A talidomida é uma molécula que existe na natureza como um par de enantiômeros, (*R*)-talidomida e (*S*)-talidomida. A leitura do texto nos permite inferir que o enantiômero *R* possui propriedades sedativas e o enantiômero *S* afeta o desenvolvimento do bebê. Então, a administração do medicamento como uma mistura desses enantiômeros levou à má-formação congênita devido à presença do isômero *S*, que interage de forma diferente do isômero *R* no organismo. Portanto, a **alternativa D** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2018 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 106 - CADERNO AZUL**

Várias características e propriedades de moléculas orgânicas podem ser inferidas analisando sua fórmula estrutural. Na natureza, alguns compostos apresentam a mesma fórmula molecular e diferentes fórmulas estruturais. São os chamados isômeros, como ilustrado nas estruturas.



Entre as moléculas apresentadas, observa-se a ocorrência de isomeria

- A) óptica
- B) de função
- C) de cadeia
- D) geométrica
- E) de compensação

### RESPOSTA COMENTADA

Isômeros são compostos orgânicos diferentes que possuem a mesma fórmula molecular. Existem 3 tipos de isomeria: isomeria plana (cadeia, função, posição, compensação e tautomeria), geométrica e óptica.

As moléculas apresentadas são diferentes, mas possuem a mesma fórmula molecular,  $C_3H_6O$ . Vamos analisar agora o tipo de isomeria que ocorre entre elas.

Analisando as fórmulas estruturais planas das moléculas, é possível observar que ambas possuem cadeias abertas e saturadas, ácido carboxílico e álcool como funções orgânicas, mesma posição dos átomos, não possuem heteroátomos e não estão em equilíbrio dinâmico. São perfeitamente idênticas nesses quesitos e, portanto, não há isomeria entre suas fórmulas planas.

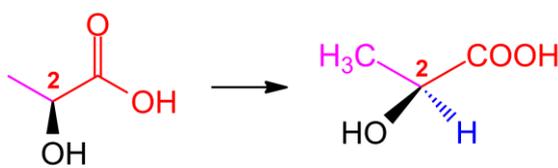


**Figura 114:** Estruturas planas idênticas para as moléculas da questão.

Para a análise da ocorrência de isomeria geométrica, analisamos a posição no espaço dos ligantes de dois átomos de carbonos diferentes. Salvo raras exceções, essa isomeria está restrita a ciclanos e alcenos. Como as moléculas não possuem essas características, não é possível a existência de isomeria geométrica entre elas.

A isomeria óptica é um tipo de isomeria espacial, caracterizada pela diferença na disposição de átomos ou grupos de átomos em relação ao espaço. Os isômeros ópticos são a imagem especular um do outro e não são sobreponíveis, pois não possuem plano de simetria.

Uma forma de descobrir se uma molécula é assimétrica é observar se ela possui um carbono quiral (carbono que está ligado a quatro ligantes diferentes entre si). Observe que o átomo de carbono C<sub>2</sub> das moléculas está ligado a 4 ligantes diferentes (-CH<sub>3</sub>, -OH, -H e -COOH), e portanto é quiral.



**Figura 115:** Estrutura do composto da questão destacando os quatro grupos ligantes ao carbono quiral.

Então, verificada a presença de carbono quiral e conseqüente assimetria das moléculas, concluímos que de fato, as moléculas constituem um par de enantiômeros. Portanto, a isomeria entre elas é do tipo óptica, como afirma a **alternativa A**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2019 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 97 - CADERNO AZUL**

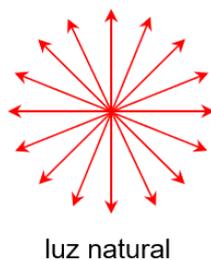
O ácido ricinoleico, um ácido graxo funcionalizado, cuja nomenclatura oficial é ácido D-(–)-12-hidroxiocetadec-*cis*-9-enoico, é obtido da hidrólise ácida do óleo de mamona. As aplicações do ácido ricinoleico na indústria são inúmeras, podendo ser empregado desde a fabricação de cosméticos até a síntese de alguns polímeros.

Para uma amostra de solução desse ácido, o uso de um polarímetro permite determinar o ângulo de

- A) refração.
- B) reflexão
- C) difração.
- D) giro levógiro.
- E) giro dextrógiro.

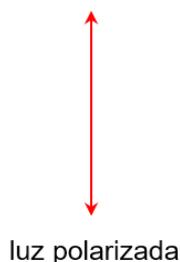
## RESPOSTA COMENTADA

Retomando alguns conceitos da Física, sabemos que a luz é uma onda eletromagnética, onde os componentes elétrico e magnético giram em planos diferentes, mas perpendiculares entre si. Assim, se tivéssemos a capacidade de visualizar essas ondas, em um plano frontal, teríamos algo como a imagem:



**Figura 116:** Visualização das direções de propagação da luz natural.

Diferentemente da luz eletromagnética comum, a luz polarizada se propaga em apenas em um plano.

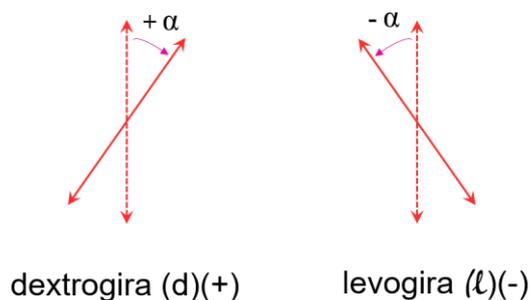


**Figura 117:** Visualização da direção de propagação da luz polarizada.

As moléculas orgânicas opticamente ativas possuem a capacidade de interagir e provocar desvios na luz polarizada. E o equipamento capaz de mensurar esse desvio é chamado de polarímetro.

A amostra que consegue desviar o plano da luz polarizada para a direita, é denominada substância dextrógira. Utilizamos as simbologias (*d*) ou (+) no início da nomenclatura do composto, para indicar essa situação.

Já a amostra que consegue desviar o plano da luz polarizada para a esquerda, é denominada substância levógira. Utilizamos as simbologias (*l*) ou (-) no início da nomenclatura do composto, para indicar essa situação.

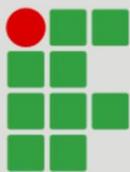


**Figura 118:** Representação dos desvios dextrógiro e levógiro provocados por um composto quando exposto a luz polarizada.

Dessa maneira, a partir da nomenclatura do ácido D-(*-*)-12-hidroxiocetadec-*cis*-9-enoico, podemos concluir que a simbologia, (*-*), indica que estamos diante de um composto que desvia a luz polarizada para esquerda, ou seja, que provoca um giro levógiro. Portanto, a resposta correta é a **alternativa D, giro levógiro**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

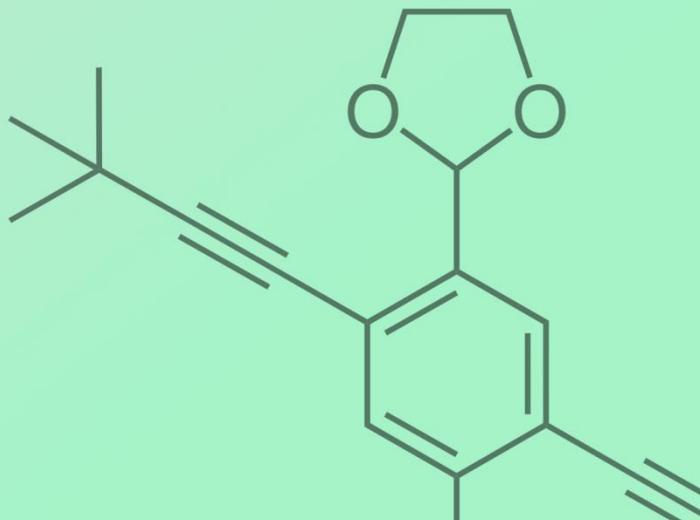


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

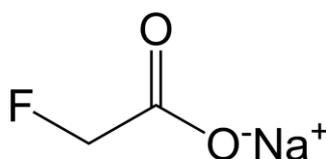
# *Acidez e Basicidade em compostos orgânicos*



## 16-ACIDEZ E BASICIDADE EM COMPOSTOS ORGÂNICOS

### ENEM 2010 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 77 - CADERNO AZUL

No ano de 2004, diversas mortes de animais por envenenamento no zoológico de São Paulo foram evidenciadas. Estudos técnicos apontam suspeita de intoxicação por monofluoracetato de sódio, conhecido como composto 1080 e ilegalmente comercializado como raticida. O monofluoracetato de sódio é um derivado do ácido monofluoracético e age no organismo dos mamíferos bloqueando o ciclo de Krebs, que pode levar à parada da respiração celular oxidativa e ao acúmulo de amônia na circulação.



monofluoracetato de sódio

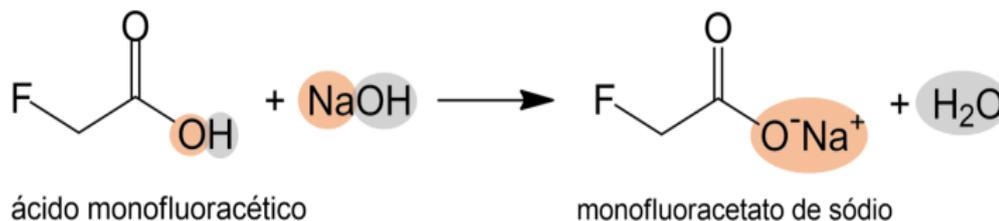
O monofluoracetato de sódio pode ser obtido pela

- A) Desidratação do ácido monofluoracético com liberação de água.
- B) Hidrólise do ácido monofluoracético sem formação de água.
- C) Perda de íons hidroxila do ácido monofluoracético, com liberação de hidróxido de sódio.
- D) Neutralização do ácido monofluoracético usando hidróxido de sódio, com liberação de água.
- E) Substituição dos íons hidrogênio por sódio na estrutura do ácido monofluoracético, sem formação de água.

### RESPOSTA COMENTADA

O monofluoracetato de sódio é um sal e, portanto, se origina da **reação de neutralização** entre um composto de caráter ácido e outro de caráter básico. A reação química que origina

esse composto é a do ácido monofluoracético (ácido) com hidróxido de sódio NaOH (base) e que gera, como produto, monofluoracetato de sódio e água.



**Figura 119:** Reação de neutralização que dá origem ao monofluoracetato de sódio.

Analisando as alternativas da questão, a única que sintetiza essas informações é a **alternativa D**.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 69 - CADERNO AZUL**

Uma dona de casa acidentalmente deixou cair na geladeira a água proveniente do degelo de um peixe, o que deixou um cheiro forte e desagradável dentro do eletrodoméstico. Sabe-se que o odor característico de peixe se deve às aminas e que esses compostos se comportam como bases.

Na tabela são listadas as concentrações hidrogeniônicas de alguns materiais encontrados na cozinha, que a dona de casa pensa em utilizar na limpeza da geladeira.

Material	Concentração de $\text{H}_3\text{O}^+$ (mol/L)
Suco de limão	$10^{-2}$
Leite	$10^{-6}$
Vinagre	$10^{-3}$
Álcool	$10^{-8}$
Sabão	$10^{-12}$
Carbonato de sódio/ barrila	$10^{-12}$

Dentre os materiais listados, quais são apropriados para amenizar esse odor?

- A) Álcool ou sabão.
- B) Suco de limão ou álcool.
- C) Suco de limão ou vinagre.
- D) Suco de limão, leite ou sabão.
- E) Sabão ou carbonato de sódio/barrilha.

### RESPOSTA COMENTADA

As aminas causadoras desse mau odor nos peixes são, como sabemos, bases. Para neutralizar esse cheiro, é possível utilizar um ácido. Quanto maior for a concentração de hidrogênio em uma substância, mais ácida ela é e, conseqüentemente, mais eficiente para eliminar o mau odor.

A tabela apresentada mostra o potencial hidrogeniônico (pH) dos materiais. Essa escala mensura a quantidade de íons de hidrônio  $\text{H}_3\text{O}^+$  por unidade de volume da solução.

Para que um composto seja ácido, a concentração de  $\text{H}_3\text{O}^+$  no meio deve ser superior a  $10^{-7}$  mols por litro. Na segunda coluna da tabela é possível notar quais substâncias atendem a essa exigência.

\*Atenção para o expoente negativo dos números. Quanto mais **positivo** o valor no expoente, **maior** a concentração de  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

O álcool, o sabão e o carbonato de sódio/barrilha apresentam concentração inferior àquela necessária para serem ácidas. Sendo assim, já podemos eliminar as alternativas com essas opções. São elas A, B, D e E, restando apenas a **alternativa C** como correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

#### ENEM 2014 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 86 - CADERNO AZUL

Grande quantidade dos maus odores do nosso dia a dia está relacionada a compostos alcalinos. Assim, em vários desses casos, pode-se utilizar o vinagre, que contém entre 3,5% e 5% de ácido acético, para diminuir ou eliminar o mau cheiro. Por exemplo, lavar as mãos com vinagre e depois enxaguá-las com água elimina o odor de peixe, já que a molécula de piridina ( $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ) é uma das substâncias responsáveis pelo odor característico de peixe podre.

SILVA, V. A.; BENITE, A. M. C.; SOARES, M. H. F. B. Algo aqui não cheira bem... A química do mau cheiro.

*Química Nova na Escola*, v. 33, n. 1, fev. 2011 (adaptado).

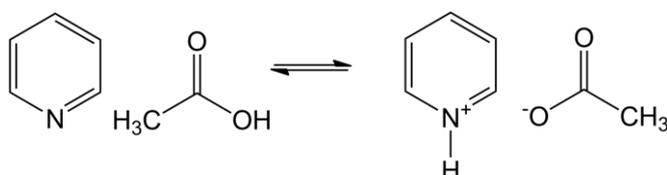
A eficiência do uso do vinagre nesse caso se explica pela

- A) sobreposição de odor, propiciada pelo cheiro característico do vinagre.
- B) solubilidade da piridina, de caráter ácido, na solução ácida empregada.
- C) inibição da proliferação das bactérias presentes, devido à ação do ácido acético.
- D) degradação enzimática da molécula de piridina, acelerada pela presença de ácido acético.
- E) reação de neutralização entre o ácido acético e a piridina, que resulta em compostos sem mau odor.

### RESPOSTA COMENTADA

A molécula de piridina possui o grupo funcional amina, que apresenta caráter básico. Esse composto alcalino é responsável pelo odor de peixe podre enquanto o ácido acético é a substância ácida presente no vinagre, capaz de reduzir o mal cheiro.

A eficiência do uso do vinagre para combater o odor do peixe deve-se a reação ácido-base que ocorre entre o ácido acético e a piridina (ver figura abaixo).



**Figura 120:** Esquema da reação entre ácido acético e piridina.

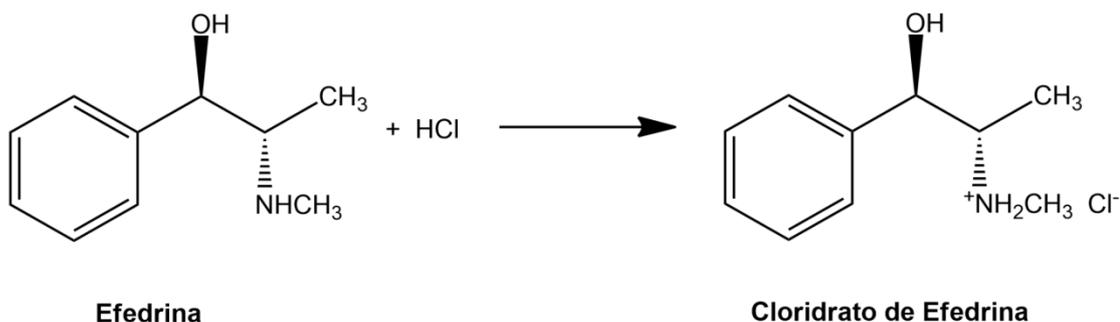
O produto da reação de neutralização entre essas substâncias é um sal, que não exala mau cheiro. A partir dessas informações é possível inferir que a alternativa **E** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2015 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 52 - CADERNO BRANCO

Sais de amônio são sólidos iônicos com alto ponto de fusão, muito mais solúveis em água que as aminas originais e ligeiramente solúveis em solventes orgânicos apolares, sendo compostos convenientes para serem usados em xaropes e medicamentos injetáveis. Um exemplo é a efedrina, que funde a  $79^{\circ}\text{C}$ , tem um odor desagradável e oxida na presença do ar atmosférico formando produtos indesejáveis. O cloridrato de efedrina funde a  $217^{\circ}\text{C}$ , não se oxida e é inodoro, sendo o ideal para compor os medicamentos.



SOUTO, C. R. O.; DUARTE, H. C. Química da vida: aminas. Natal: EDUFRRN, 2006

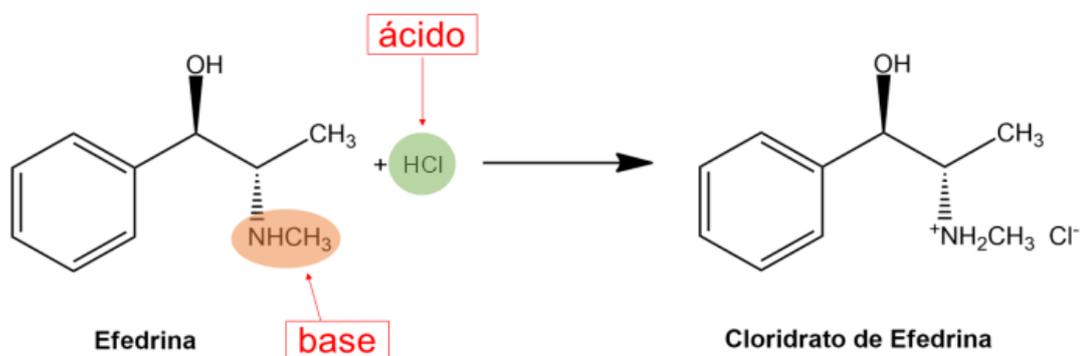
De acordo com o texto, que propriedade química das aminas possibilita a formação de sais de amônio estáveis, facilitando a manipulação de princípios ativos?

- A) Acidez.
- B) Basicidade.
- C) Solubilidade.
- D) Volatilidade.
- E) Aromaticidade.

### RESPOSTA COMENTADA

A reação descrita acima se encerra com a formação de um sal (cloridrato de efedrina). Por esse motivo, sabemos que se trata de uma reação de neutralização, quando um ácido e uma base interagem e dão origem a um sal. O HCl, um dos compostos reagentes, está presente em

inúmeras questões de química e, como sabemos, é um ácido. Na estrutura da efedrina há a presença do grupo amina, que tem caráter básico.



**Figura 121:** Substâncias ácida e básica destacadas na efedrina.

O que confere basicidade à efedrina é o composto amina destacado em laranja.

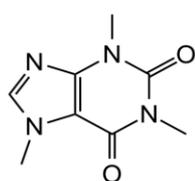
Sendo assim, podemos assumir que a característica da amina presente na efedrina que possibilita a formação de sais de amônio é a basicidade, mencionada na **alternativa B**.



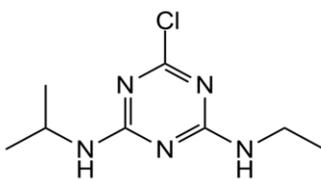
Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## ENEM 2017 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 119 - CADERNO AZUL

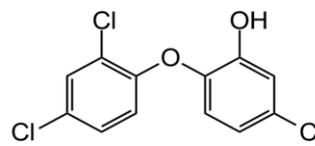
Pesquisadores avaliaram a qualidade da água potável distribuída em cidades brasileiras. Entre as várias substâncias encontradas, destacam-se as apresentadas no esquema. A presença dessas substâncias pode ser verificada por análises químicas, como uma reação ácido-base, mediante a adição de hidróxido de sódio.



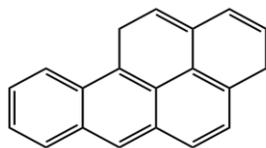
Cafeína



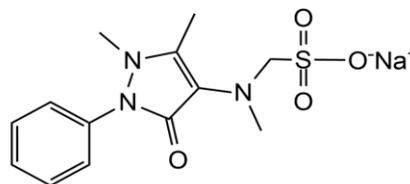
Atrazina



Triclosan



Benzo[a]pireno



Dipirona sódica

Disponível em: [www.unicamp.br](http://www.unicamp.br). Acesso em: 16 nov. 2014 (adaptado)

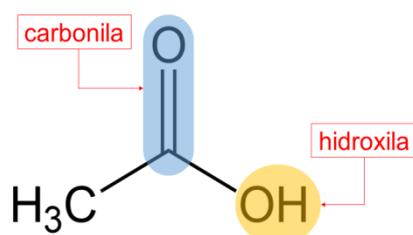
Apesar de não ser perceptível visualmente, por causa das condições de diluição, essa análise apresentará resultado

- A) cafeína
- B) atrazina
- C) triclosan
- D) benzo[a]pireno
- E) dipirona sódica

## RESPOSTA COMENTADA

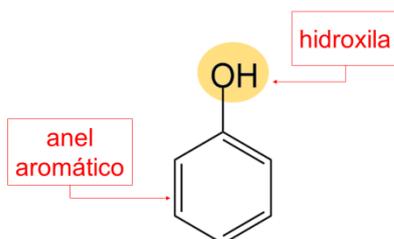
O enunciado diz que podemos identificar a substância através da análise química de uma reação ácido-base com a adição de hidróxido de sódio (NaOH). Sabendo que a base desta reação é o hidróxido de sódio (composto alcalino), é preciso verificar, entre as substâncias encontradas, qual delas será o ácido que irá reagir com a base NaOH.

As substâncias de caráter ácido entre os compostos orgânicos são as que apresentam em sua estrutura os grupos funcionais ácido carboxílico e fenol. O ácido carboxílico possui um átomo de carbono ligado a um grupo carbonila e hidroxila.



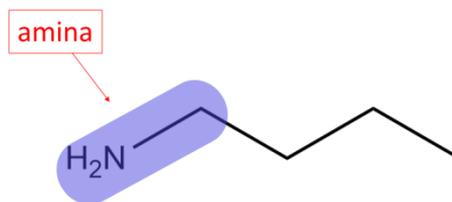
**Figura 122:** Representação do ácido carboxílico com os grupos carbonila e hidroxila em destaque.

Já o fenol possui um grupo hidroxila ligado a um anel aromático.



**Figura 123:** Representação do fenol.

Dentre os compostos orgânicos, as aminas são os compostos que apresentam caráter mais básico. As aminas podem ser identificadas como grupos que são derivados da amônia ( $NH_3$ ) onde um ou mais hidrogênios são substituídos por cadeias carbônicas.

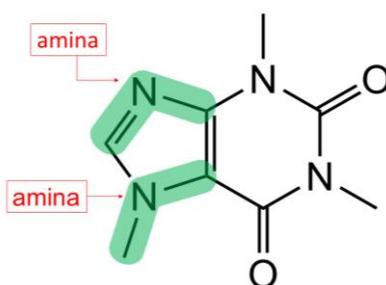


**Figura 124:** exemplo de amina primária com átomo de nitrogênio ligado diretamente a um átomo de carbono.

Vamos agora analisar os compostos encontrados:

Cafeína:

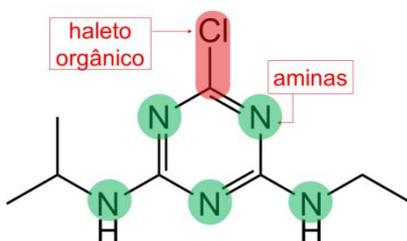
Apresenta aminas em sua composição e, portanto, é uma substância de caráter básico.



**Figura 125:** Molécula de cafeína representada em fórmula estrutural.

Atrazina:

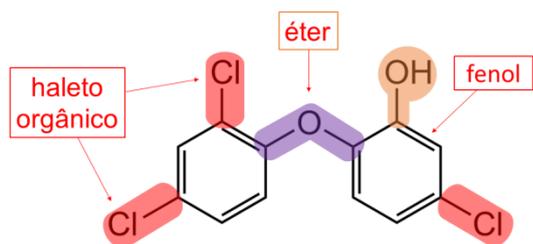
Possui aminas e haleto Cl orgânico, o que, também, faz dela uma substância de caráter básico.



**Figura 126:** Molécula de atrazina representada em fórmula estrutural.

**Triclosan:**

Possui haleto orgânico, éter e fenol. O fenol é ácido e, ao reagir com a base NaOH irá formar sal e água. Portanto, a **alternativa C** é a correta.



Triclosan

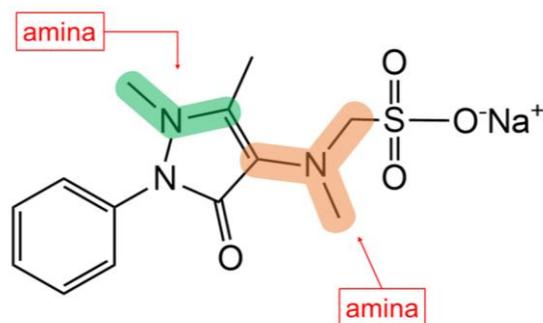
**Figura 127:** Molécula de triclosan representada em fórmula estrutural.

Benzo[a]pireno:

É um hidrocarboneto, sendo composto apenas de átomos de carbono e hidrogênio. Não possui funções orgânicas que conferem acidez.

Dipirona Sódica:

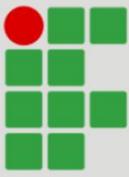
Possui aminas e amidas de caráter básico, mas não apresenta nenhuma função orgânica de caráter ácido.



**Figura 128:** Molécula de dipirona representada em sua fórmula estrutural.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

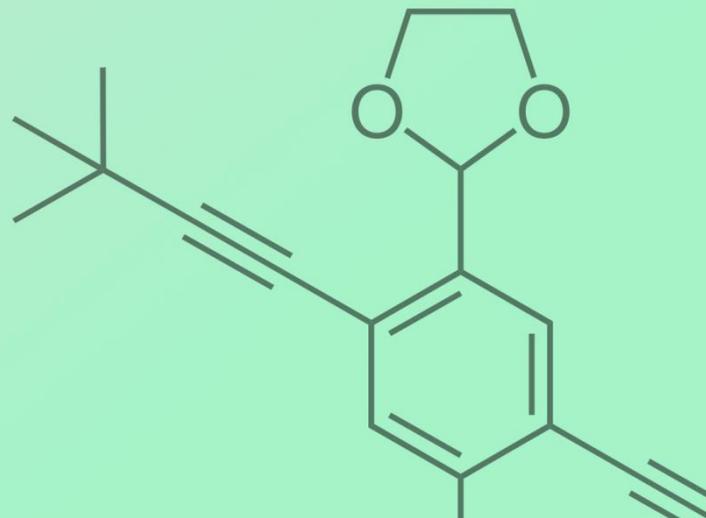


**INSTITUTO  
FEDERAL**

Bahia

Campus  
Santo Amaro

# *Reações orgânicas*

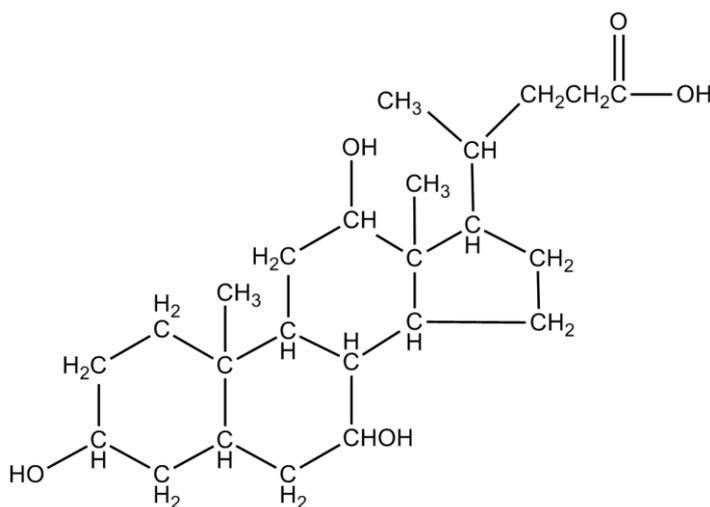


## 17-REAÇÕES ORGÂNICAS

### *SUBSTITUIÇÃO NUCLEOFÍLICA NO CARBONO ACÍLICO*

#### **ENEM 2011 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 72 - CADERNO AZUL**

A bile é produzida pelo fígado, armazenada na vesícula biliar e tem papel fundamental na digestão de lipídeos. Os sais biliares são esteroides sintetizados no fígado a partir do colesterol, e sua rota de síntese envolve várias etapas. Partindo do ácido cólico representado na figura, ocorre a formação dos ácidos glicocólico e taurocólico; o prefixo glico- significa a presença de um resíduo do aminoácido glicina e o prefixo tauro-, do aminoácido taurina.



ácido cólico

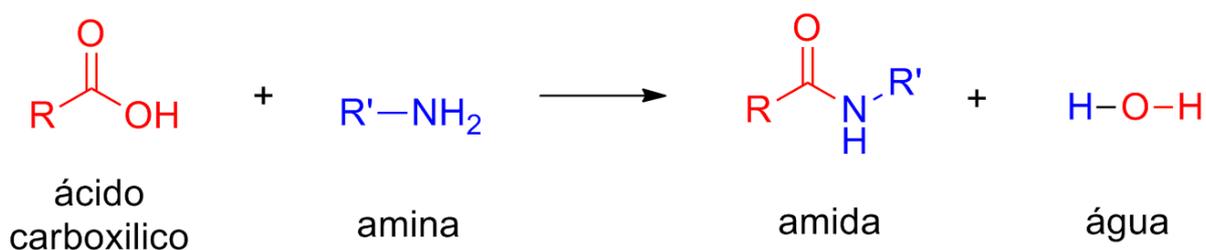
UCKO, D. A. *Química para as Ciências da Saúde: uma Introdução à Química Geral, Orgânica e Biológica*. São Paulo: Manole, 1992 (adaptado).

A combinação entre o ácido cólico e a glicina ou taurina origina a função amida, formada pela reação entre o grupo amina desses aminoácidos e o grupo

- A) carboxila do ácido cólico.
- B) aldeído do ácido cólico.
- C) hidroxila do ácido cólico.
- D) cetona do ácido cólico.
- E) éster do ácido cólico.

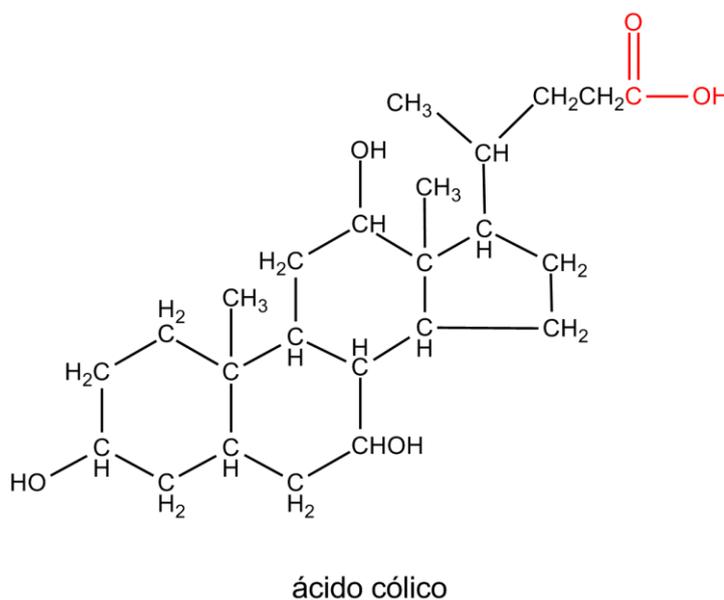
## RESPOSTA COMENTADA

De forma usual, as amidas são produzidas a partir da reação de substituição nucleofílica entre um ácido carboxílico e uma amina.



**Figura 129:** reação ocorrente entre um ácido carboxílico e uma amina, tendo como produtos uma amida e água.

Assim, os grupos amina da taurina e da glicina devem reagir com o grupo ácido carboxílico do ácido cólico para fornecer o produto desejado. Portanto, **alternativa A**.



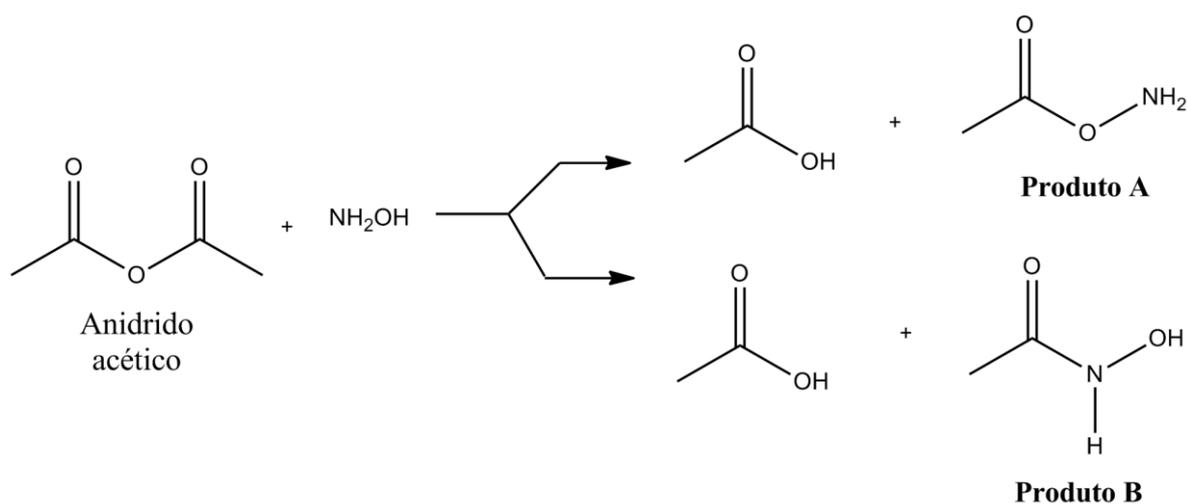
**Figura 130:** estrutura do ácido cólico, com destaque para o grupo ácido carboxílico de sua molécula.



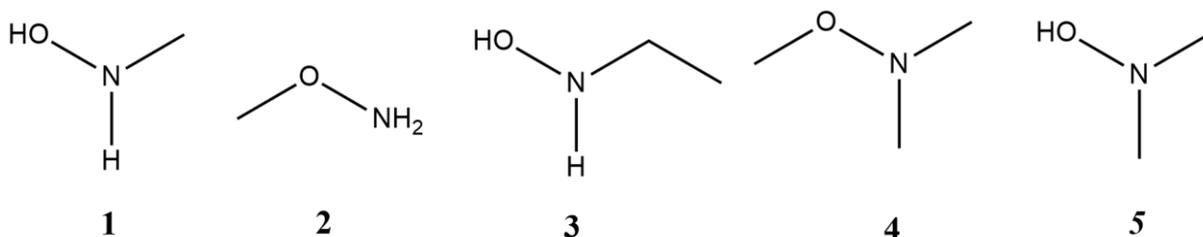
Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2018 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 109 - CADERNO AZUL**

A hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) é extremamente reativa em reações de substituição nucleofílica, justificando sua utilização em diversos processos. A reação de substituição nucleofílica entre o anidrido acético e a hidroxilamina está representada.



O produto A é favorecido em relação ao B, por um fator de  $10^5$ . Em um estudo de possível substituição do uso de hidroxilamina, foram testadas as moléculas numeradas de 1 a 5.



Dentre as moléculas testadas, qual delas apresentou menor reatividade?

- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) 4
- E) 5

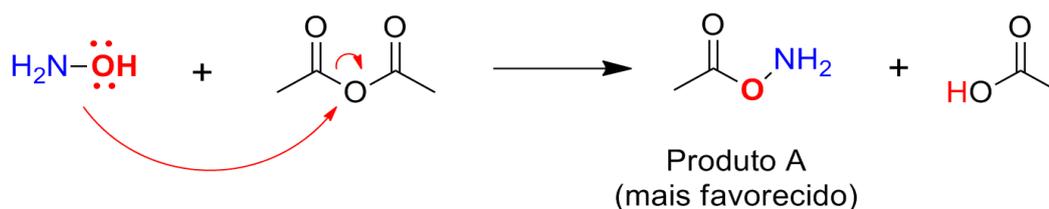
### RESPOSTA COMENTADA

A reação entre o anidrido acético ( $\text{CH}_3\text{COOCOCH}_3$ ) e a hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) é caracterizada como reação de substituição nucleofílica no carbono acílico. De forma mais detalhada, nesta reação, o nucleófilo (hidroxilamina) deve atacar o carbono carbonílico do anidrido acético (adição), e em seguida deve ocorrer a eliminação de parte da molécula do anidrido (eliminação). O resultado global, é o produto de substituição.

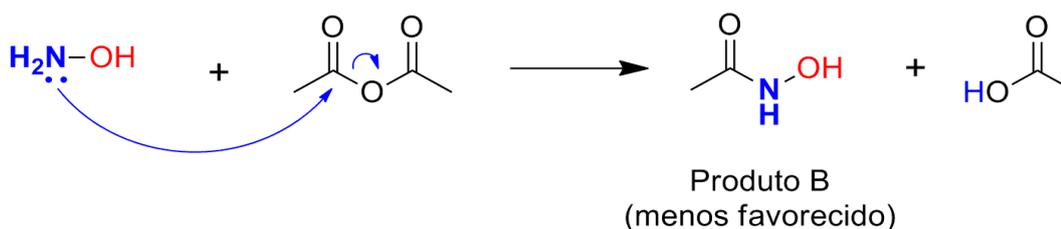
Porém, o nucleófilo da reação (molécula de hidroxilamina) possui dois pontos de nucleofilia: o átomo de oxigênio e o átomo de nitrogênio.

- Se o átomo de oxigênio da  $\text{NH}_2\text{OH}$  atuar como nucleófilo, temos como resultado o produto A.
- Se o átomo de nitrogênio da  $\text{NH}_2\text{OH}$  atuar como nucleófilo, temos como resultado o produto B.

Quando o nucleófilo é o átomo de oxigênio da hidroxilamina:

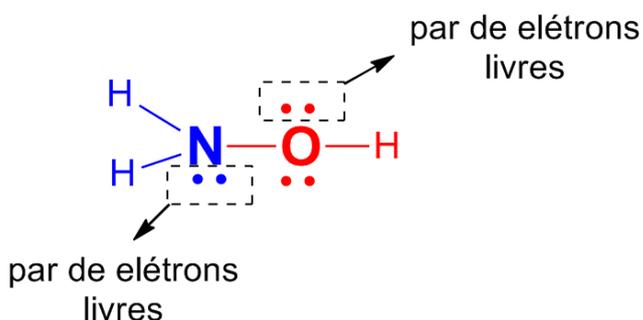


Quando o nucleófilo é o átomo de nitrogênio da hidroxilamina:



**Figura 131:** demonstração das reações de substituição nucleofílica, tendo os diferentes átomos da hidroxilamina como nucleófilos.

Os nucleófilos são bases de Lewis. Eles devem possuir ao menos um par de elétrons livres para formar uma nova ligação covalente, em uma reação. Observe que tanto o átomo de nitrogênio, quanto o átomo de oxigênio da hidroxilamina, possuem pares de elétrons livres e por isso, ambos podem atuar como bases de Lewis.



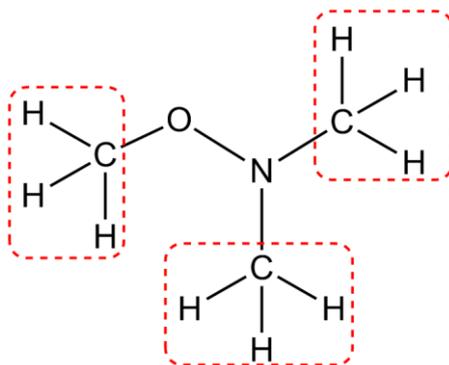
**Figura 132:** estrutura da hidroxilamina, com destaque para os pares de elétrons livres.

A força de um nucleófilo depende, entre outros fatores, não só da presença, mas também da disponibilidade do par de elétrons livres. Isso significa que o par de elétrons precisa ter espaço para estabelecer a nova ligação covalente. A presença de grupos R (cadeias carbônicas)

ligadas diretamente aos átomos nucleofílicos (carbono ou nitrogênio) obstruem o espaço necessário para que o par de elétrons atue como nucleófilo, e conseqüentemente, diminuem a nucleofilia da molécula. Essa condição é denominada impedimento estérico.

Assim, em um estudo de possível substituição do uso de hidroxilamina, a molécula que apresentará a menor reatividade será a que possui menor nucleofilia. Das cinco moléculas disponibilizadas, todas apresentam um átomo de oxigênio e um átomo de nitrogênio na estrutura. A diferença entre elas está na quantidade de grupos R substituintes, ligados a estes átomos.

Analisando as estruturas, percebemos que a **molécula 4** é a que possui maior número de grupos substituintes, apresentando dois grupos metilas ( $\text{CH}_3$ ) ligados ao átomo de nitrogênio e um grupo metila ligado ao átomo de oxigênio. Dessa forma, ela é a molécula que possui maior impedimento estérico e será menos nucleofílica e menos reativa frente à reação de substituição com anidrido acético. **Alternativa D**. Observe a figura abaixo:



**Figura 133:** representação da molécula 4, com foco nos grupos metila( $\text{CH}_3$ ) substituintes.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### *COMBUSTÃO EM ALCANOS*

#### **ENEM 2011 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 79 - CADERNO AZUL**

A explosão de uma plataforma de petróleo em frente à costa americana e o vazamento de cerca de mil barris de petróleo por dia no mar provocaram um desastre ambiental. Uma das estratégias utilizadas pela Guarda Costeira para dissipar a mancha negra foi um recurso simples: fogo. A queima da mancha de petróleo para proteger a costa provocará seus próprios problemas ambientais, criando enormes nuvens de fumaça tóxica e deixando resíduos no mar e no ar.

HIRST, M. Depois de vazamento, situação de petroleira britânica se complica. *BBC*. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk>. Acesso em: 1 maio 2010 (adaptado).

Além da poluição das águas provocada pelo derramamento de óleo no mar, a queima do petróleo provoca a poluição atmosférica formando uma nuvem negra denominada fuligem, que é proveniente da combustão

- A) completa de hidrocarbonetos.
- B) incompleta de hidrocarbonetos.
- C) completa de compostos sulfurados.
- D) incompleta de compostos sulfurados.
- E) completa de compostos nitrogenados.

### RESPOSTA COMENTADA

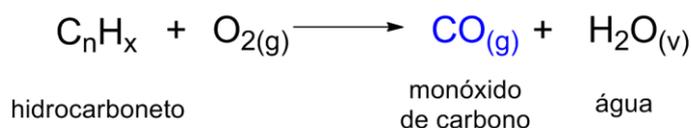
O petróleo é uma fonte de energia não renovável constituída por uma mistura de diversos compostos orgânicos, predominantemente hidrocarbonetos ( $C_nH_x$ ). Por conter substâncias tóxicas e ser insolúvel em água, o seu vazamento no mar acarreta diversos problemas ambientais e demanda estratégias de contenção, remoção e dispersão.

Uma estratégia utilizada para conter o derramamento do petróleo é a queima, ou seja, a combustão de matéria orgânica. Existem diferentes tipos de reação de combustão: completa e incompleta (com ou sem formação de fuligem).

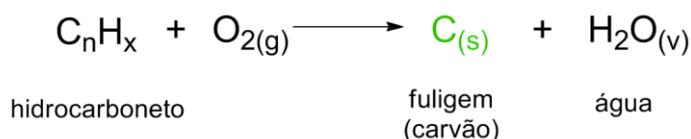
### REAÇÃO DE COMBUSTÃO COMPLETA



### REAÇÃO DE COMBUSTÃO INCOMPLETA (sem fuligem)



### REAÇÃO DE COMBUSTÃO INCOMPLETA (com fuligem)



**Figura 134:** esquema das reações de combustão do carbono.

Na combustão completa, há o suprimento adequado de gás oxigênio. A cadeia carbônica do hidrocarboneto sofre ruptura total e os átomos de carbono são TOTALMENTE oxidados. O resultado é a produção de dióxido de carbono e água. Já na combustão incompleta, não há o suprimento adequado de gás oxigênio. A cadeia carbônica do hidrocarboneto sofre ruptura total, porém:

- os átomos de carbono podem ser PARCIALMENTE oxidados e assim os produtos obtidos serão monóxido de carbono e água;
- os átomos de carbono podem NÃO SER oxidados e os produtos obtidos serão carbono e água. O carbono obtido neste processo também é chamado de fuligem. A fuligem constitui um sólido de partículas muito finas, que se dispersa no ar como uma nuvem negra de fumaça, geralmente muito tóxica e poluente;

Assim, a queima do petróleo para proteger a costa não é uma excelente estratégia, pois provocará a criação de nuvens de fumaça tóxica (nuvem de fuligem) oriunda da reação de combustão incompleta do petróleo, como propõe à **alternativa B**.



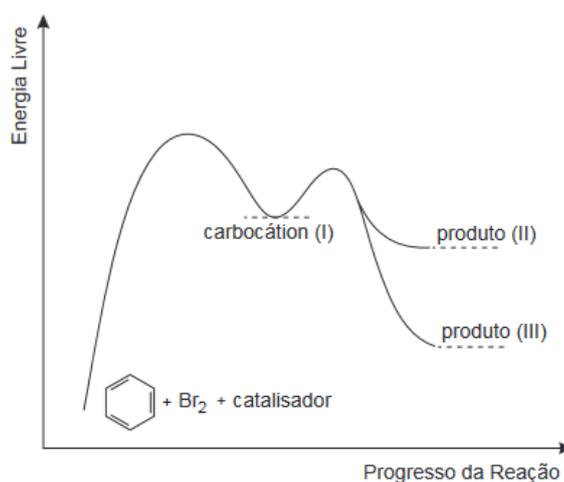
Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### *SUBSTITUIÇÃO ELETROFÍLICA AROMÁTICA*

#### **ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 66 - PROVA AZUL**

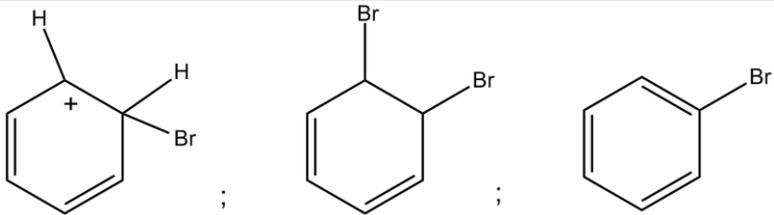
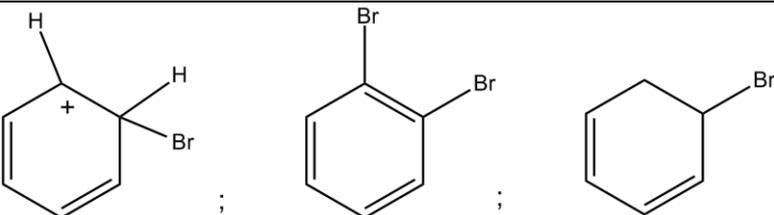
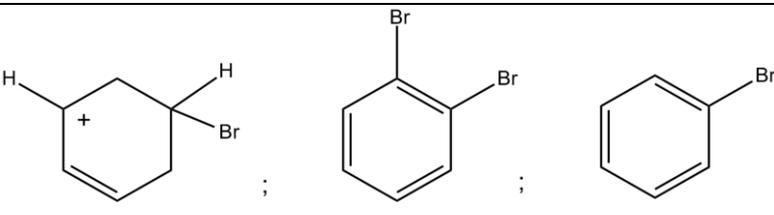
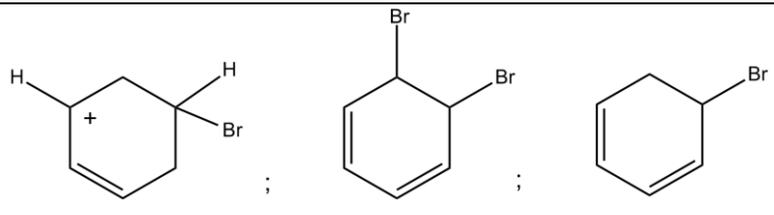
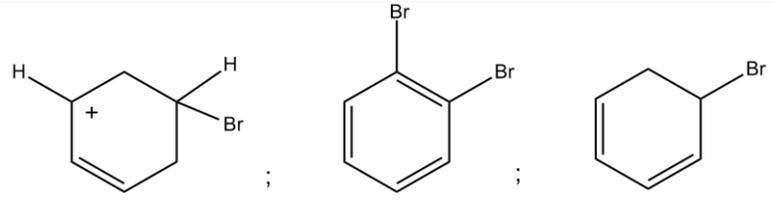
O benzeno é um hidrocarboneto aromático presente no petróleo, no carvão e em condensados de gás natural. Seus metabólitos são altamente tóxicos e se depositam na medula óssea e nos tecidos gordurosos. O limite de exposição pode causar anemia, câncer (leucemia) e distúrbios do comportamento. Em termos de reatividade química, quando um eletrófilo se liga ao benzeno, ocorre a formação de um intermediário, o carbocátion. Por fim, ocorre a adição ou substituição eletrofílica.

Disponível em: [www.sindipetro.org.br](http://www.sindipetro.org.br). Acesso em: 1 mar. 2012 (adaptado).



Disponível em: [www.qmc.ufsc.br](http://www.qmc.ufsc.br). Acesso em: 1 mar. 2012 (adaptado).

Com base no texto e no gráfico do progresso da reação apresentada, as estruturas químicas encontradas em I, II e III são, respectivamente:

A)	
B)	
C)	
D)	
E)	

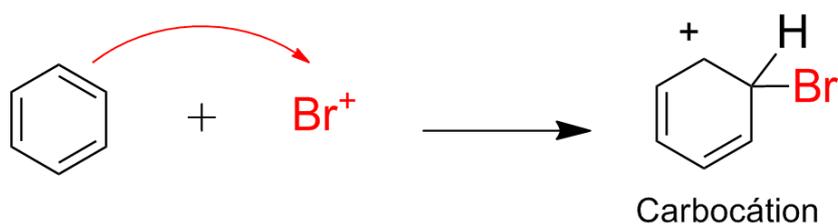
## RESPOSTA COMENTADA

Uma molécula de bromo, na presença de um catalisador, sofre cisão heterolítica e forma um eletrófilo (espécie pobre em elétrons) e um nucleófilo (espécie rica em elétrons) de bromo:



**Figura 135:** Molécula de bromo ( $\text{Br}_2$ ) após sofrer o processo de cisão heterolítica.

O benzeno é um composto rico em elétrons, e isso faz com que ele reaja com substâncias pobres em elétrons, como um eletrófilo de bromo,  $\text{Br}^+$ . A primeira etapa da reação consiste no ataque dos elétrons pi do anel aromático a esse eletrófilo. Isso resulta na formação de um intermediário de carga positiva, que chamamos de carbocátion.



**Figura 136:** Etapa de formação do carbocátion.

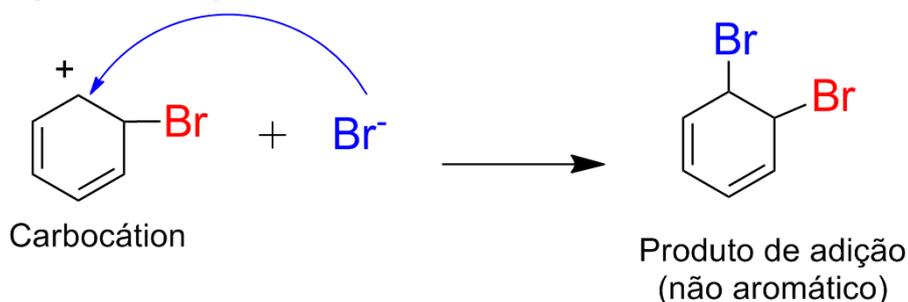
Observe no diagrama disponibilizado pela questão, que o carbocátion está em um patamar mais energético que o benzeno, ou seja ele é mais instável que o benzeno, portanto, essa etapa deve envolver gasto de energia.

Na segunda etapa da reação duas situações podem acontecer:

- A- O carbocátion reagir com o nucleófilo de bromo,  $\text{Br}^-$ , para produzir o composto de adição;
- B- O carbocátion perder um próton, auxiliado pelo nucleófilo de bromo,  $\text{Br}^-$ , para produzir o composto de substituição;

Abaixo, ilustramos as duas situações:

### A: reação de adição



### B: reação de substituição

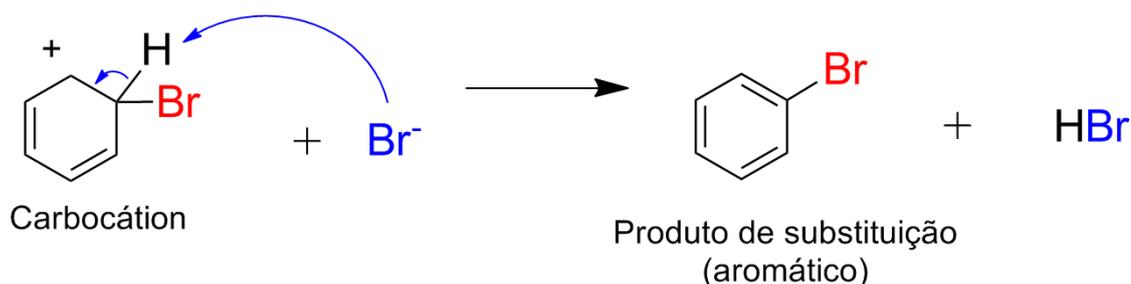


Figura 137: processos das reações A e B, respectivamente.

Os produtos de adição e substituição não serão formados com a mesma facilidade, pois as moléculas resultantes de cada reação possuem diferentes estabilidades. Um deles tem energia maior e deve ser formado com mais dificuldade (produto II, menos estável), enquanto o outro terá menos energia e deve ser formado de forma mais fácil (produto III, mais estável). Para conseguirmos distinguir quem é o produto II e quem é o produto III, vamos analisar novamente a estrutura molecular dos produtos de adição e substituição na figura acima.

Observe que na reação de substituição o produto final é aromático, assim como o benzeno. Compostos aromáticos são estabilizados por ressonância e, portanto, devem ter baixa energia, o que facilita a ocorrência da reação.

Já na reação de adição, o produto final é um alceno. Pensando no processo global, a reação parte do benzeno, que é um composto aromático estabilizado por ressonância, e resulta em um composto insaturado, que não possui essa estabilidade do anel aromático. O produto de adição deve ser, portanto, um produto menos estável (mais energético). Desta forma, esse tipo de reação deve ocorrer com muita dificuldade.

Assim, podemos inferir que o produto II, mais energético e menos favorecido, deve ser o produto de adição. Já o produto III, de menor energia, deve ser o produto de substituição.

A alternativa que contempla as estruturas do carbocátion e produtos II e III discutidos neste texto é a **alternativa A**.

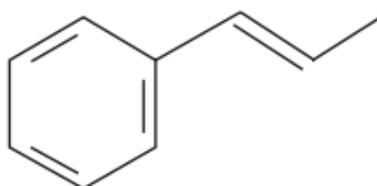


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### *OXIDAÇÃO E REDUÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS*

#### **ENEM 2015 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 60 - CADERNO AZUL**

O permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) é um agente oxidante forte muito empregado tanto em nível laboratorial quanto industrial. Na oxidação de alcenos de cadeia normal, como o 1-fenil-1-propeno, ilustrado na figura, o  $\text{KMnO}_4$  é utilizado para a produção de ácidos carboxílicos.



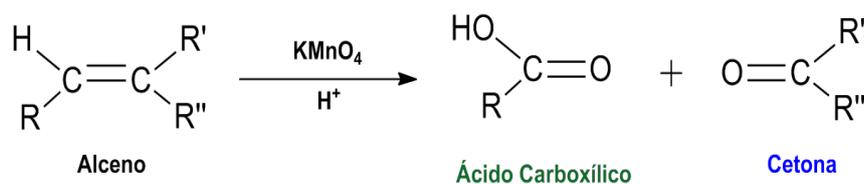
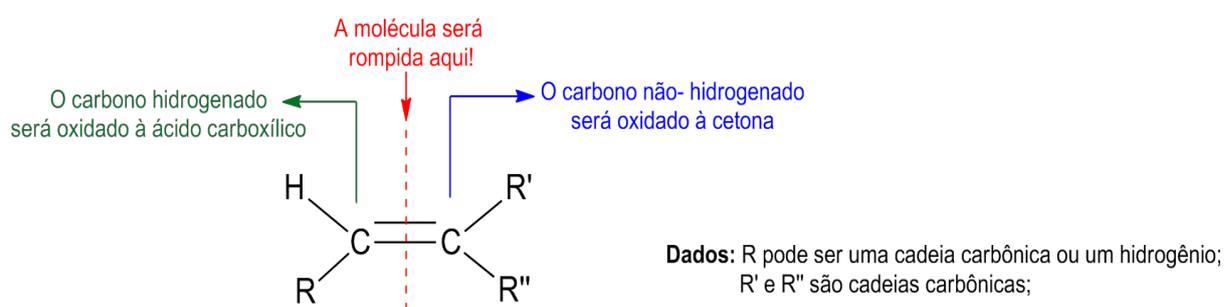
**1-fenil-1-propeno**

Os produtos obtidos na oxidação do alceno representado, em solução aquosa de  $\text{KMnO}_4$ , são:

- A) Ácido benzoico e ácido etanoico.
- B) Ácido benzoico e ácido propanoico.
- C) Ácido etanoico ou ácido 2-feniletanoico.
- D) Ácido 2-feniletanoico e ácido metanoico.
- E) Ácido 2-feniletanoico e ácido propanoico.

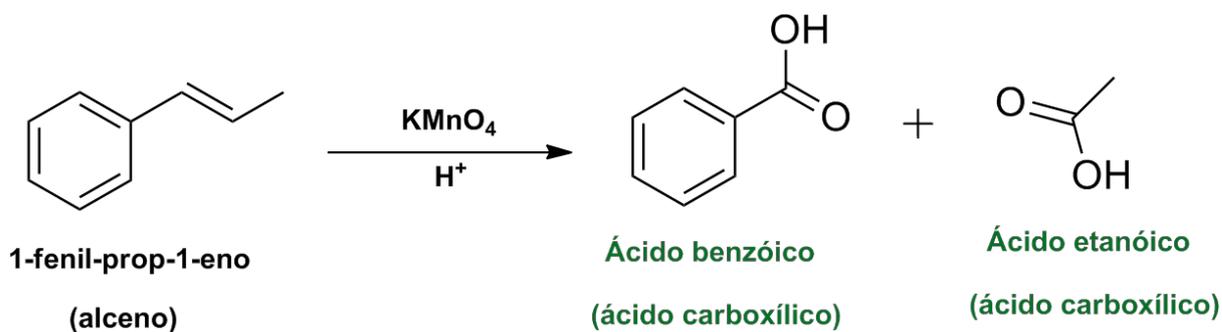
## RESPOSTA COMENTADA

Na reação de oxidação de alcenos com permanganato de potássio em meio ácido, ocorre a ruptura da ligação dupla, e a formação de duas novas moléculas orgânicas com maior grau de oxidação. Geralmente os produtos variam entre ácidos carboxílicos e/ou cetonas dependendo das características dos carbonos da ligação dupla. Alcenos que possuem carbonos  $sp^2$  hidrogenados serão oxidados a ácidos carboxílicos, enquanto alcenos que possuem carbonos  $sp^2$  não hidrogenados (dissubstituídos) serão oxidados às respectivas cetonas. Esquematizamos o processo logo abaixo.



**Figura 138:** esquema do rompimento da ligação dupla presente na estrutura do alceno, através da reação de oxidação que originará ácido carboxílico e/ou cetona.

Desta forma, temos que para a oxidação do 1-fenil-1-propeno, que é um alceno cujos carbonos da ligação são hidrogenados, a formação de duas moléculas de ácido carboxílico:



**Figura 139:** reação com o 1-fenil-prop-1-eno, que originará dois ácidos carboxílicos.

Os produtos obtidos serão, portanto, ácido benzóico e ácido etanóico, como propõe a alternativa A.



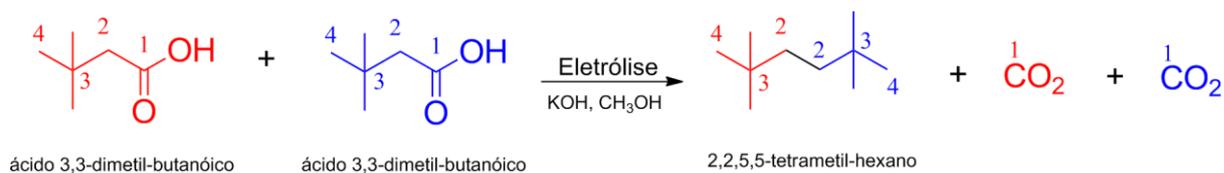
Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

**ENEM 2015 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 77 - CADERNO AZUL**

Hidrocarbonetos podem ser obtidos em laboratório por descarboxilação oxidativa anódica, processo conhecido como eletrossíntese de Kolbe. Essa reação é utilizada na síntese de hidrocarbonetos diversos, a partir de óleos vegetais, os quais podem ser empregados como fontes alternativas de energia, em substituição aos hidrocarbonetos fósseis. O esquema ilustra simplificadaamente esse processo.



Seguido o mesmo raciocínio, podemos prever que para a reação de eletrólise de Kolbe do ácido 3,3-dimetil-butanoico, teremos a formação do 2,2,5,5-tetrametil-hexano.



**Figura 141:** esquema da descarboxilação utilizando o 3,3-dimetil-butanoico.

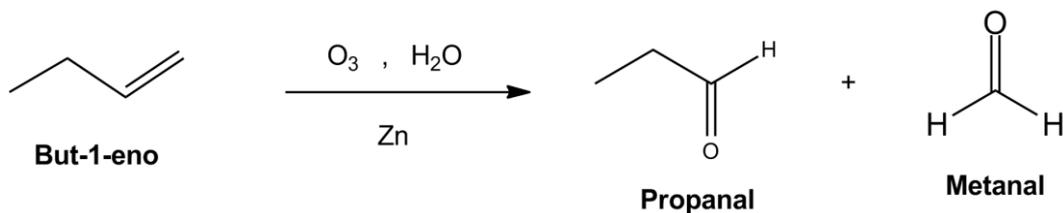
Assim, a **alternativa C** está correta.



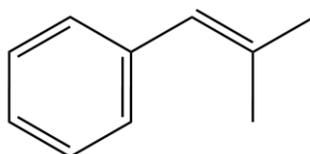
Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2017 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 134 - CADERNO AZUL

A ozonólise, reação utilizada na indústria madeireira para a produção de papel, é utilizada em escala de laboratório na síntese de aldeídos e cetonas. As duplas ligações dos alcenos são clivadas pela oxidação com o ozônio ( $O_3$ ), em presença de água e zinco metálico, e a reação produz aldeídos e/ou cetonas, dependendo do grau de substituição da ligação dupla. Ligações duplas dissustituídas geram cetonas, enquanto as ligações duplas terminais ou monossustituídas dão origem a aldeídos, como mostra o esquema.



Considere a ozonólise do composto 1-fenil-2-metilprop-1-eno:



**1-fenil-2-metilprop-1-eno**

MARTINO, A. *Química, a ciência global*. Goiânia: Editora W, 2014(adaptado).

Quais são os produtos formados nessa reação?

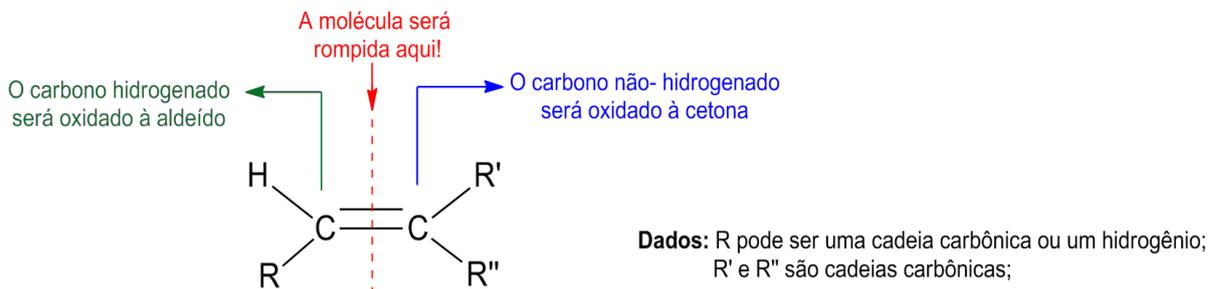
- A) Benzaldeído e propanona
- B) Propanal e benzaldeído
- C) 2-fenil-etanal e metanal
- D) Benzeno e propanona
- E) Benzaldeído e etanal.

### RESPOSTA COMENTADA

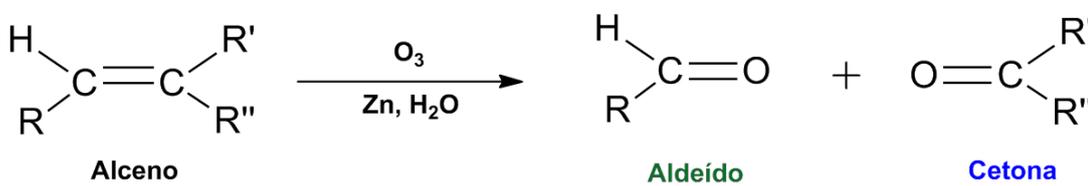
Nas condições reacionais de oxidação de alcenos com ozônio citadas no texto, a ligação dupla do hidrocarboneto é totalmente rompida e duas novas moléculas são geradas. Essas duas novas moléculas podem ser duas cetonas, um aldeído e uma cetona ou dois aldeídos.

O que vai definir a natureza dos produtos formados é o grau de substituição dos carbonos da ligação dupla, C=C. Ou seja, carbonos primários e secundários (carbonos hidrogenados) serão

oxidados à aldeídos enquanto carbonos terciários (carbonos não-hidrogenados) serão oxidados à cetonas. Abaixo ilustramos como se dá o processo de quebra da ligação dupla e um esquema genérico de reação.

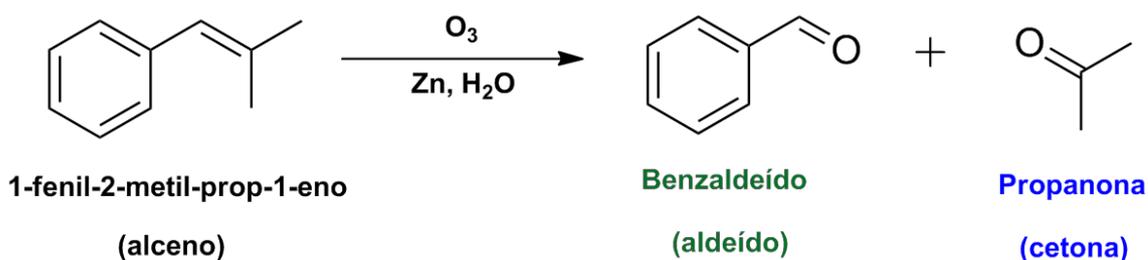


**Figura 142:** processo de quebra da ligação dado pela adição de ozônio, denominado ozonólise.



**Figura 143:** esquema da reação de ozonólise, onde se originam aldeídos e/ou cetonas.

A ozonólise do composto 1-fenil-2-metil-prop-1-eno, acontecerá então, de forma análoga e consequentemente produzirá benzaldeído e propanona, como mostramos no esquema abaixo:



**Figura 144:** processo utilizando a molécula proposta pela questão.

Portanto, a **alternativa A** está correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### *SUBSTITUIÇÃO NUCLEOFÍLICA NO CARBONO SATURADO*

#### **ENEM 2016 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 76 - CADERNO AZUL**

Nucleófilos ( $\text{Nu}^-$ ) são bases de Lewis que reagem com haletos de alquila, por meio de uma reação chamada substituição nucleofílica ( $\text{S}_\text{N}$ ), como mostrado no esquema:

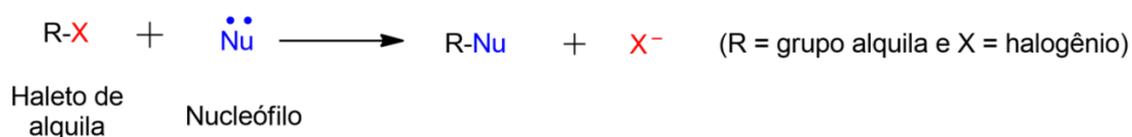


A reação de  $\text{S}_\text{N}$  entre metóxido de sódio ( $\text{Nu}^- = \text{CH}_3\text{O}^-$ ) e brometo de metila fornece um composto orgânico pertencente à função:

- A) éter.
- B) éster.
- C) álcool.
- D) haleto.
- E) hidrocarboneto.

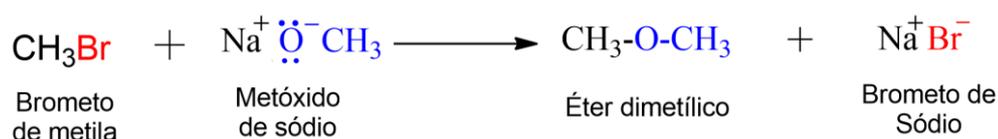
## RESPOSTA COMENTADA

De acordo com o texto, as reações de substituição nucleofílica se caracterizam pela reação entre um haleto de alquila (R-X) e um nucleófilo (Nu<sup>••</sup>). O nucleófilo é uma espécie rica em elétrons e atua substituindo o átomo de halogênio na molécula orgânica. Abaixo apresentamos, de forma didática, o esquema da reação de substituição:



**Figura 145:** Mecanismo da reação de substituição nucleofílica no Haleto de alquila.

Na reação entre o brometo de metila (CH<sub>3</sub>Br) e o metóxido de sódio (CH<sub>3</sub>O<sup>-</sup>Na<sup>+</sup>), o nucleófilo, CH<sub>3</sub>O<sup>-</sup>, deve substituir o átomo de bromo na molécula do haleto de alquila. A reação será, portanto:



**Figura 146:** Reação de substituição nucleofílica entre o Brometo de metila(CH<sub>3</sub>Br) e metóxido de sódio(CH<sub>3</sub>O<sup>-</sup>Na<sup>+</sup>).

Dessa forma, o composto CH<sub>3</sub>-O-CH<sub>3</sub> deve ser obtido como produto. A presença de um átomo de oxigênio entre dois átomos de carbono é característica da função orgânica éter, tornando a **alternativa A** correta.

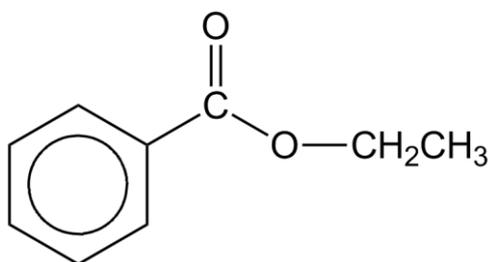


Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

*ESTERIFICAÇÃO, TRANSESTERIFICAÇÃO E HIDRÓLISE DE ÉSTERES*

**ENEM 2012 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 58 - CADERNO AZUL**

A própolis é um produto natural conhecido por suas propriedades anti-inflamatórias e cicatrizantes. Esse material contém mais de 200 compostos identificados até o momento. Dentre eles, alguns são de estrutura simples, como é o caso do  $C_6H_5CO_2CH_2CH_3$ , cuja estrutura está mostrada a seguir.



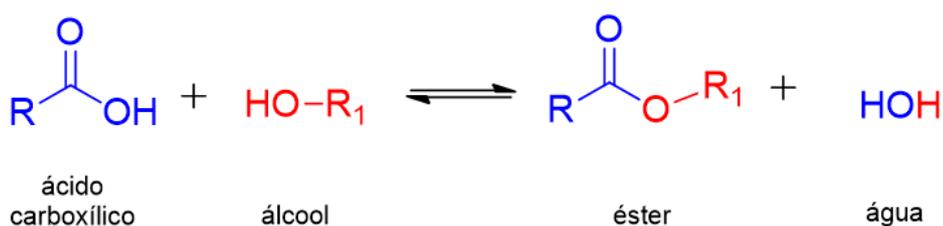
O ácido carboxílico e o álcool capazes de produzir o éster em apreço por meio da reação de esterificação são, respectivamente,

- A) ácido benzoico e etanol.
- B) ácido propanoico e hexanol.
- C) ácido fenilacético e metanol.
- D) ácido propiônico e ciclohexanol.
- E) ácido acético e álcool benzílico.

### RESPOSTA COMENTADA

O processo de síntese de um éster consiste na reação entre um ácido carboxílico e um álcool. Conforme esquematizado de forma genérica abaixo, é possível observar que durante a formação deste produto ocorre também a formação de água em razão da saída de um hidrogênio (H) do álcool e uma hidroxila (OH) do ácido.

Conforme esquematizado de forma genérica abaixo, o processo de síntese de um éster consiste na reação de adição/eliminação que ocorre entre um ácido carboxílico e um álcool. No processo ocorre também a formação de água, em razão da perda de um átomo de hidrogênio (H) da hidroxila alcoólica e perda de um grupo -OH do ácido carboxílico.

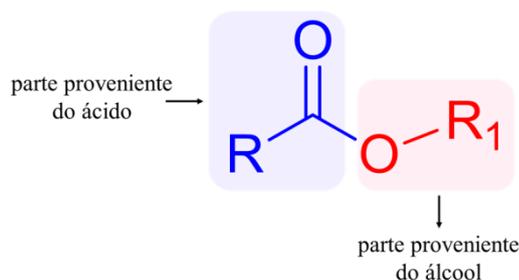


**Figura 147:** processo da síntese de um éster qualquer (esterificação).

Na estrutura do éster formado é possível reconhecer a parte que veio do ácido carboxílico e a parte que veio do álcool:

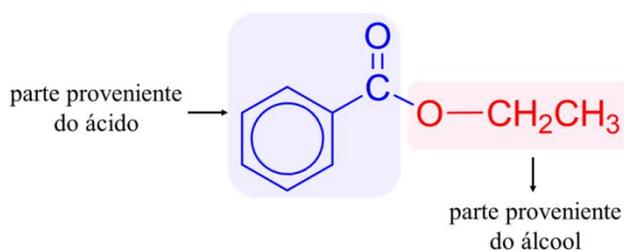
Se observarmos a estrutura do éster genérico formado nesta reação, é possível reconhecer facilmente a parte da molécula proveniente do ácido carboxílico e a parte proveniente do

álcool. A parte carbonílica de um éster vem sempre do ácido, enquanto o alcóxido é sempre oriundo do álcool. Abaixo destacamos a origem das “partes” da molécula.



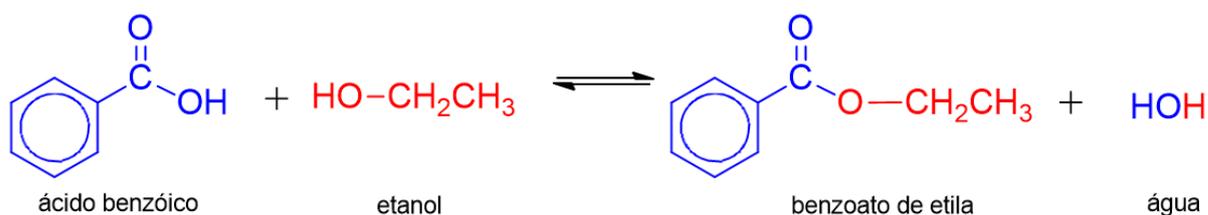
**Figura 148:** especificação das determinadas partes que compõem um éster.

Tomando como base a estrutura do éster apresentado no enunciado da questão (benzoato de etila), podemos verificar também a parte da molécula proveniente do ácido e a parte proveniente do álcool.



**Figura 149:** análise das partes do éster indicado.

Facilmente constatamos que o éster em questão, deve ser formado a partir da reação entre o ácido benzóico e o etanol:



**Figura 150:** reação de esterificação necessária para obtenção da molécula indicada.

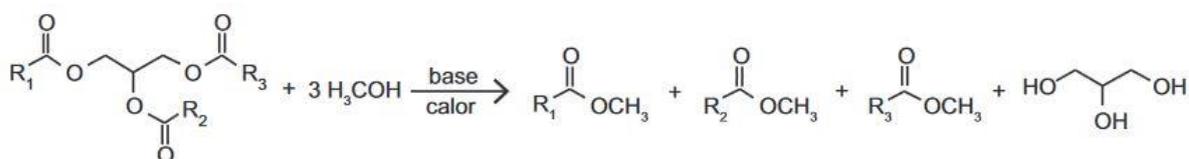
Dessa maneira, temos que a **alternativa A** seria a correta, ácido benzoico e etanol.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2012 - SEGUNDA APLICAÇÃO - QUESTÃO 75 - CADERNO BRANCO

Um dos métodos de produção de biodiesel envolve a transesterificação do óleo de soja utilizando metanol em meio básico (NaOH ou KOH), que precisa ser realizada na ausência de água. A figura mostra o esquema reacional da produção de biodiesel, em que R representa as diferentes cadeias hidrocarbônicas dos ésteres de ácidos graxos.

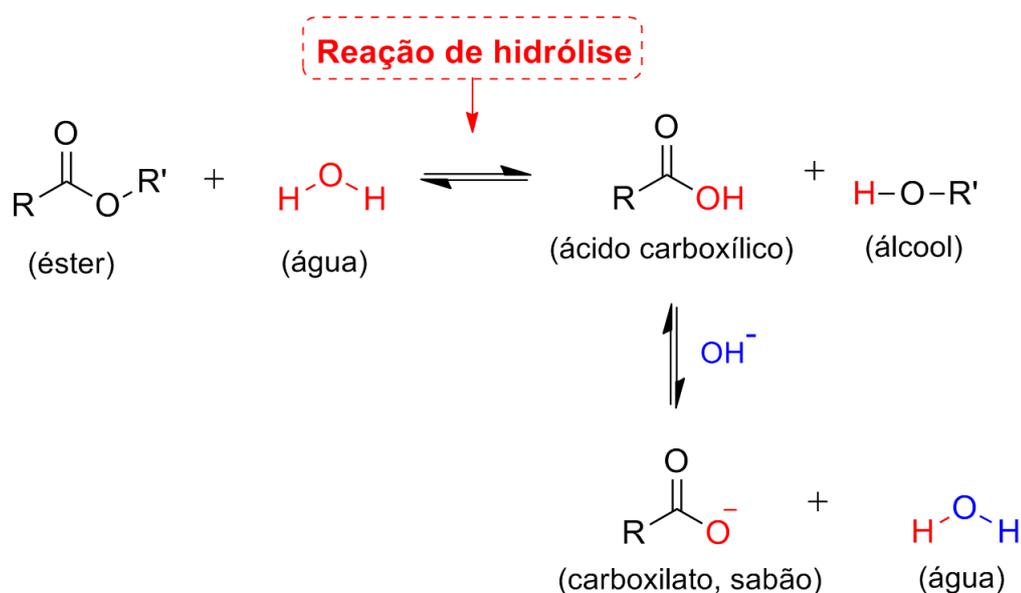


A ausência de água no meio reacional se faz necessária para

- A) manter o meio reacional no estado sólido.
- B) manter a elevada concentração do meio reacional.
- C) manter constante o volume de óleo no meio reacional.
- D) evitar a diminuição da temperatura da mistura reacional.
- E) evitar a hidrólise dos ésteres no meio reacional e a formação de sabão.

## RESPOSTA COMENTADA

Os ésteres quando em contato com a água, sofrem reação de hidrólise. Isto é, a molécula de água é capaz de quebrar o composto orgânico, regenerando o ácido carboxílico e o álcool que originalmente deram origem ao éster. Se a reação é realizada em meio básico (como mostra o esquema do enunciado), o ácido carboxílico é desprotonado e o respectivo carboxilato é obtido como produto final. Esse ânion carboxilato quando possui cadeia carbônica longa, é mais conhecido como sabão. Abaixo esquematizamos o processo:



**Figura 151:** esquema da reação de hidrólise do éster, e posteriormente, saponificação do ácido.

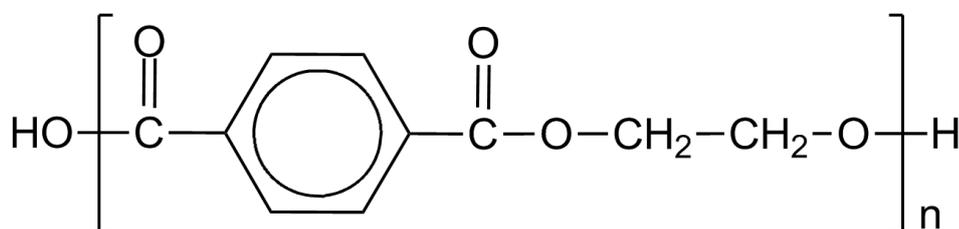
Desta forma, a ausência de água no meio reacional atua de modo a evitar a hidrólise dos ésteres e conseqüentemente evitar a formação de sabão. Temos, portanto, que a **alternativa E** seria a correta.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2013 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 54 - CADERNO AZUL

O uso de embalagens plásticas descartáveis vem crescendo em todo o mundo, juntamente com o problema ambiental gerado por seu descarte inapropriado. O politereftalato de etileno (PET), cuja estrutura é mostrada, tem sido muito utilizado na indústria de refrigerantes e pode ser reciclado e reutilizado. Uma das opções possíveis envolve a produção de matérias-primas, como o etilenoglicol (1,2-etanodiol), a partir de objetos compostos de PET pós-consumo.



Disponível em: [www.abipet.org.br](http://www.abipet.org.br). Acesso em: 27 fev. 2012 (adaptado).

Com base nas informações do texto, uma alternativa para a obtenção de etilenoglicol a partir do PET é a

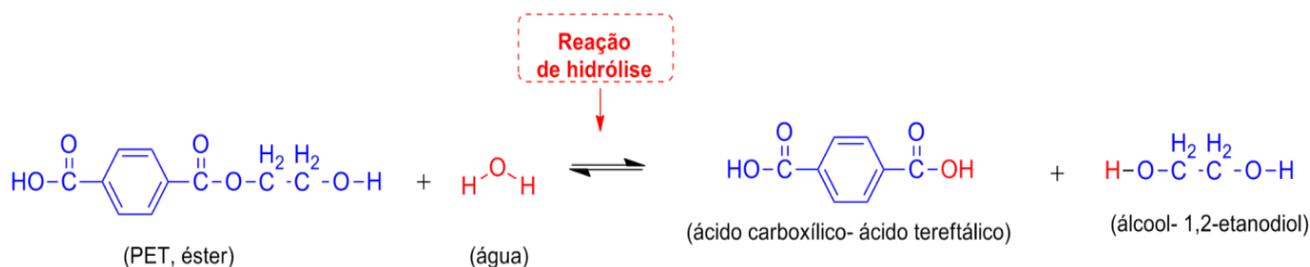
- A) solubilização dos objetos.
- B) combustão dos objetos.
- C) trituração dos objetos.
- D) hidrólise dos objetos.
- E) fusão dos objetos.

### RESPOSTA COMENTADA

Para transformar o PET em etilenoglicol, precisamos fazer uma transformação química. Processos como trituração, solubilização e fusão do PET constituem processos físicos, que mudam apenas o aspecto ou estado físico da matéria, mas não alteram sua composição. Portanto, é impossível obter o etilenoglicol a partir desses mecanismos.

Já a combustão do PET, como a maioria das reações de combustão de compostos orgânicos oxigenados, deve resultar na formação de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{CO}$  e  $\text{C}$  podem se formar em alguns casos). Nos resta assim, o único processo viável de obtenção do etilenoglicol, que é a partir da hidrólise do PET.

O politereftalato de etileno (PET) possui a função orgânica éster ( $\text{RCOOR}'$ ) em sua macroestrutura. Assim como os demais representantes desta função orgânica, o PET sofre reação de hidrólise sob catálise ácida ou básica. Isto é, na presença de um catalisador, a molécula de água ( $\text{H-O-H}$ ) é capaz de quebrar a ligação  $\text{RCO-OR}'$ , regenerando o ácido carboxílico ( $\text{RCO-OH}$ ) e o álcool ( $\text{H-OR}'$ ) que originalmente deram origem ao PET. Abaixo, mostramos a reação:



**Figura 152:** hidrólise ocorrente com o PET.

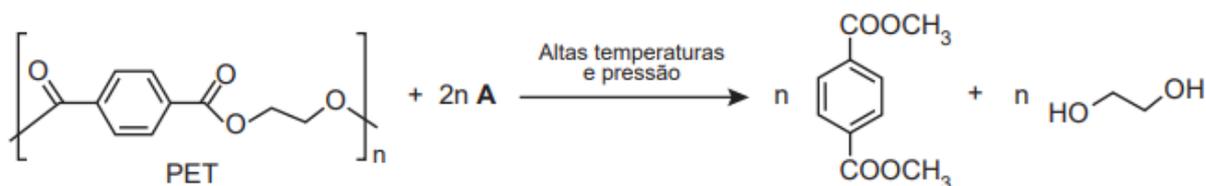
Observe que o álcool formado a partir da hidrólise do PET é justamente o etilenoglicol (1,2-etanodiol). **Alternativa D.**



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

### ENEM 2019 - PRIMEIRA APLICAÇÃO - QUESTÃO 124 - CADERNO AZUL

Uma das técnicas de reciclagem química do polímero PET [poli(tereftalato de etileno)] gera o tereftalato de metila e o etanodiol, conforme o esquema de reação, e ocorre por meio de uma reação de transesterificação.

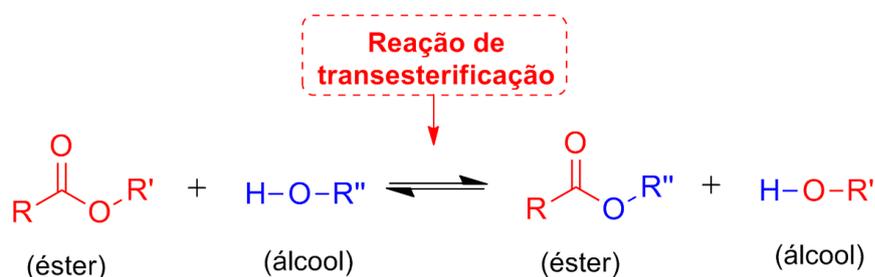


O composto A, representado no esquema de reação, é o

- A) metano.
- B) metanol.
- C) éter metílico.
- D) ácido etanoico.
- E) anidrido etanoico.

### RESPOSTA COMENTADA

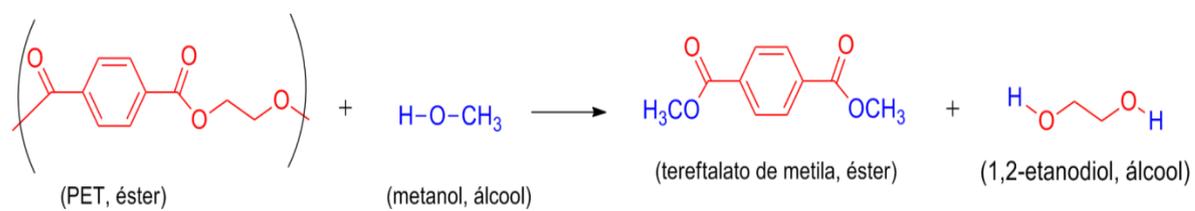
A reação de transesterificação consiste na reação de um éster com um álcool para obtenção de um novo éster e um novo álcool. O esquema genérico da reação de transesterificação é apresentado abaixo:



**Figura 153:** reação de transesterificação, ocorrida entre um éster qualquer e um álcool qualquer.

Assim, na reação de transesterificação, o PET (éster) deve reagir com uma molécula de álcool (composto A) para gerar o tereftalato de metila (novo éster) e o etanodiol (álcool), conforme o esquema de reação disponibilizado no enunciado. Dentre os compostos apresentados nas alternativas, o único representante da função orgânica álcool, ou seja, o composto que possui uma hidroxila ligada a carbono saturado, é o metanol (CH<sub>3</sub>-OH), **alternativa B.**

A seguir mostramos o esquema de reação de transesterificação do PET com metanol:

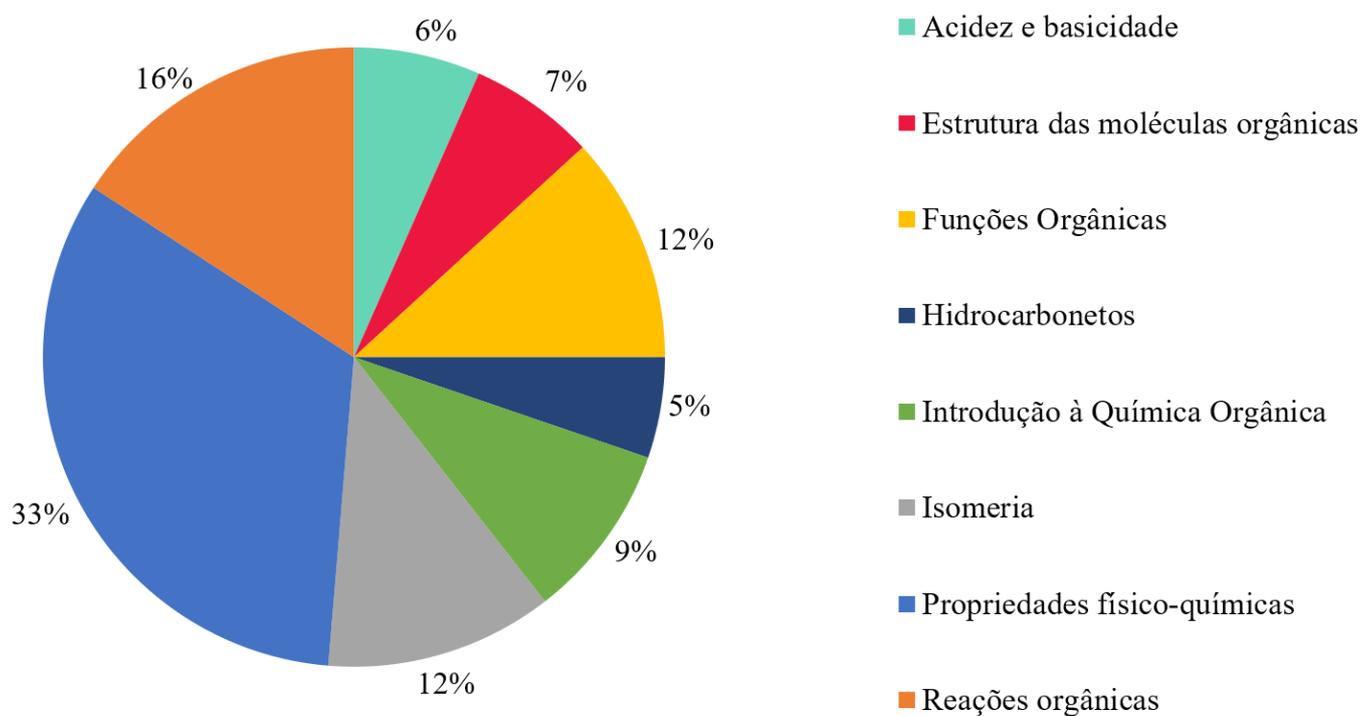


**Figura 154:** transesterificação utilizando a molécula de PET informada pela questão.



Escaneie o QR Code acima para acessar a resolução da questão na plataforma YouTube.

## PERCENTUAL DE QUESTÕES POR CONTEÚDO



## **AGRADECIMENTOS**

Nós, participantes do projeto "10 anos de química orgânica no ENEM", gostaríamos de agradecer a Deus por toda sua benevolência, à docente Elivana Lima França pela oportunidade de ingresso no referido projeto, aos nossos familiares por todo apoio, e aos nossos colegas de projeto pela parceria e dedicação nesses quatro meses em que trabalhamos juntos.

## REFERÊNCIAS

ENEM 2009 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2010 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2011 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2012 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2013 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2014 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

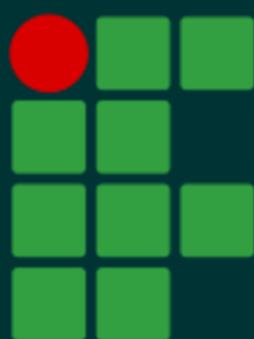
ENEM 2015 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2016 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2017 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2018 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.

ENEM 2019 – Exame Nacional do Ensino Médio. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Ministério da Educação. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>>. Acesso em: Agosto de 2021.



**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Bahia

---

Campus  
Santo Amaro