



APL 12º ano: **SÍNTESE DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO ALIMENTAR**  
**Avaliação da verdura química e análise de resultados**

1. A “Estrela Verde” (EV) é uma métrica criada para avaliar a verdura de uma reação ou processo químico. É constituída por uma estrela de tantas pontas quantos os Princípios da QV que se aplicam à situação em análise. Cada ponta é tanto mais verde quanto melhor for o cumprimento do respetivo princípio. Em face da sua forma, a métrica foi designada pelo nome de “Estrela Verde”.

1.1. Consultando a tabela de segurança do protocolo e tendo por base os critérios definidos na tabela I anexas preencha a Tabela 1.

**Tabela 1.** Perigos para a saúde, ambiente e físicos de todas as substâncias envolvidas

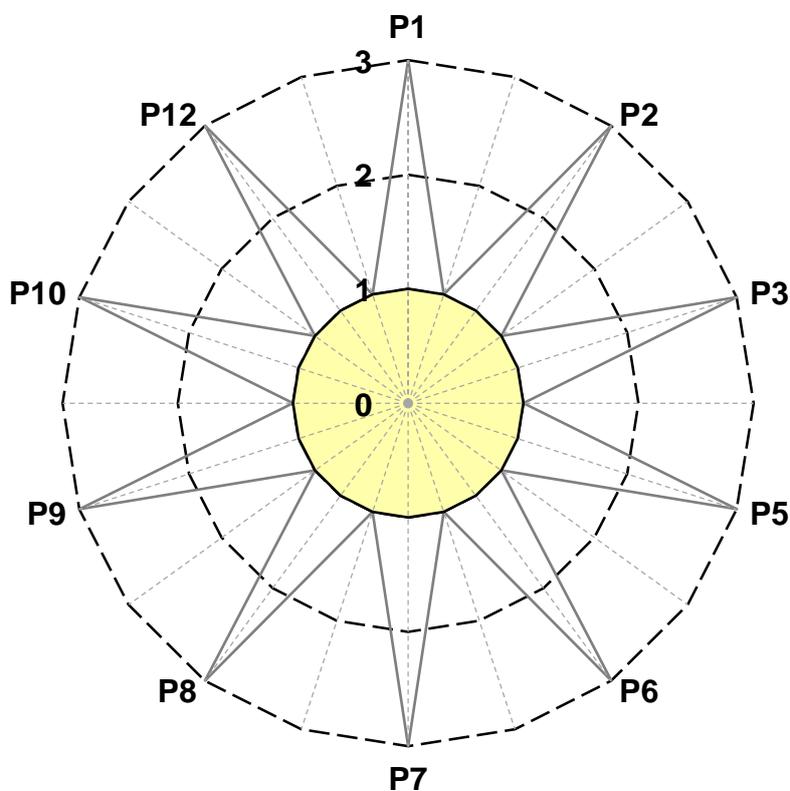
Síntese do etanoato de <i>n</i> -butilo	Código das advertências de perigo	Pontuação de perigos para a saúde	Pontuação de perigos para o ambiente	Pontuação de perigos físicos
<b>Reagentes</b>				
Óleo vegetal alimentar				
Etanol absoluto				
<b>Substâncias Auxiliares: Catalisador</b>				
Hidróxido de potássio				
<b>Outras substâncias auxiliares</b>				
Água				
Ácido acético				
Sulfato de sódio anidro				
<b>Produto</b>				
Biodiesel				
<b>Resíduos</b>				
Glicerol				
Etanol em excesso				
Acetato de sódio (em sol. aquosa)				
Água				
Sulfato de sódio hidratado				

1.2. Tendo por base a tabela II anexa preencha a Tabela 2.

**Tabela 2.** Pontuações para construir a EV

Princípio da QV	Pontuação	Explicação
P1 – Prevenção		
P2- Economia atômica		
P3 – Sínteses menos perigosas		
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras		
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética		
P7 – Uso de matérias primas renováveis		
P8 – Redução de derivatizações		
P9 – Catalizadores		
P10 – Planificação para a degradação		
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes		

1.3. Construa a EV na Figura 1, marcando em cada eixo a pontuação do respetivo princípio e pintando a verde e a vermelho as áreas que indicam o cumprimento ou não cumprimento dos princípios, respetivamente. Em seguida use a folha de Excel fornecida para desenhar a EV e calcular o Índice de Preenchimento da Estrela (IPE).



**Figura 1 - EV para preencher**

1.4. A partir da EV o que pode concluir quanto à verduira química da síntese?

---

---

---

---

---

---

---

## 2. Métricas da química verde

### 2.1. Fator E

$$\text{Fator E} = \frac{m_{\text{total de resíduos}}}{\text{massa de produto}}$$

O *valor ideal* do Fator E é *zero*, o que ocorreria se não houvesse produção de quaisquer resíduos.

Nas situações reais, o Fator E tem muitas vezes um valor bastante elevado: produzem-se muitos mais resíduos do que produto!

Calcular:

(a) massa total de resíduos, considerando ( $m_{\text{total de resíduos}} = \text{massa total de reagentes} - \text{massa de produto}$ )

massa total de resíduos calculada = \_\_\_\_\_

(b) Fator E

Valor do fator E \_\_\_\_\_

O que pode concluir quanto à verduira química da síntese a partir do valor do fator E?

---

---

---

---

---

---

---

## 2.2. Eficiência de massa (RME)

$$\text{RME} = \frac{\text{massa de produto}}{\text{massa total de reagentes estequiométricos}} \times 100$$

O *valor ideal* do RME é 100% o que acontece quando não há excesso de reagentes estequiométricos, ou seja os reagentes estequiométricos estão presentes em proporções estequiométricas, não há formação de coprodutos e o rendimento é de 100% (todos os reagentes estequiométricos se transformam em produto).

Para a síntese realizada calcular o RME.

Valor de RME \_\_\_\_\_

O que pode concluir quanto à verduza química da síntese a partir do valor do RME?

---

---

---

---

---

## ANEXOS: DOCUMENTOS DE APOIO À CONSTRUÇÃO DA EV

### Documento 1 – Princípios da Química Verde

---

#### P1 – PREVENÇÃO

É melhor prevenir a formação de resíduos do que ter de tratá-los, depois de se terem criado, para eliminar as suas propriedades tóxicas

**As experiências serão analisadas atendendo aos resíduos formados.**

---

#### P2 – ECONOMIA ATÓMICA

Os métodos sintéticos devem ser planificados de modo a maximizar a incorporação no produto final de todas as substâncias usadas ao longo do processo

**Este princípio só será aplicado no caso das atividades que envolvem reações de síntese.**

---

#### P3 – SÍNTESES MENOS PERIGOSAS

Sempre que possível, os métodos sintéticos devem ser planificados de modo a usar e produzir substâncias não tóxicas (ou pouco tóxicas) para a saúde humana e a ecossfera

**Este princípio só será aplicado no caso das atividades que envolvem reações de síntese.**

**As experiências serão analisadas atendendo a todas as substâncias envolvidas.**

---

#### P4 – PLANIFICAÇÃO A NÍVEL MOLECULAR DE PRODUTOS MAIS SEGUROS

Os produtos químicos devem ser planificados a nível molecular de modo a cumprir as funções desejadas e a minimizar a sua toxicidade

**Este princípio não se aplica nesta aferição, pois no ensino não se efetua a planificação de novos produtos.**

---

#### P5 – SOLVENTES E OUTRAS SUBSTÂNCIAS AUXILIARES MAIS SEGURAS

O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes para promover separações, etc) deve ser evitado sempre que possível; quando usados, esses agentes devem ser inócuos

**As experiências serão analisadas atendendo aos solventes e substâncias auxiliares utilizadas.**

---

#### P6 – PLANIFICAÇÃO PARA CONSEGUIR EFICÁCIA ENERGÉTICA

Deve-se reconhecer os impactos económicos e ambientais dos requisitos energéticos dos processos químicos e minimizá-los; quando possível, os métodos sintéticos devem ser realizados à temperatura e pressão ambientais ou próximas destas

---

#### P7 – USO DE MATÉRIAS PRIMAS RENOVÁVEIS

Sempre que for técnica e economicamente praticável, devem-se usar matérias primas e recursos renováveis de preferência a não renováveis

**A análise será efectuada atendendo às matérias-primas utilizadas.**

---

#### P8 – REDUÇÃO DE DERIVATIZAÇÕES

Devem-se minimizar ou, se possível, evitar derivatizações (uso de grupos bloqueadores, de passos de proteção/desproteção, e de modificações temporárias na molécula para permitir processos físicos/químicos) porque tais etapas requerem reagentes adicionais e podem produzir resíduos

**Este princípio só será aplicado no caso das atividades que envolvem reações de síntese.**

---

#### P9 – CATALISADORES

Devem-se preferir reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) a reagentes estequiométricos

**Este princípio só será aplicado no caso das atividades que envolvem reações de síntese.**

---

#### P10 – PLANIFICAÇÃO PARA A DEGRADAÇÃO

Os produtos químicos devem ser planificados a nível molecular de modo que no fim do seu uso não persistam no ambiente e se decomponham em produtos de degradação inócuos

**As experiências serão analisadas atendendo a todas as substâncias envolvidas.**

---

#### P11 – ANÁLISE PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO EM TEMPO REAL

Deve-se procurar usar métodos analíticos que permitam monitorização direta dos processos de fabrico em tempo real e controlo precoce da formação de substâncias perigosas

**Este princípio não se aplica nesta aferição, pois no ensino não se efetua a planificação de novos produtos.**

---

#### P12 – QUÍMICA INERENTEMENTE MAIS SEGURA QUANTO À PREVENÇÃO DE ACIDENTES

As substâncias usadas e as formas da sua utilização nos processos químicos de fabrico devem minimizar o potencial de ocorrência de acidentes químicos, tais como fugas, explosões e incêndios

**As experiências serão analisadas atendendo a todas as substâncias envolvidas.**

---

**Tabela 1.** Pontuação para classificar os perigos das substâncias.

Perigos		Pontuação Estrela verde	Classificação Círculo verde	Perigos		Pontuação Estrela verde	Classificação Círculo verde
H200	Físico	3	Elevado	H330	Saúde	3	Elevado
H201	Físico	3	Elevado	H331	Saúde	3	Elevado
H202	Físico	3	Elevado	H332	Saúde	2	Moderado
H203	Físico	3	Elevado	H333	Saúde	2	Moderado
H204	Físico	2	Moderado	H334	Saúde	3	Elevado
H205	Físico	3	Elevado	H335	Saúde	2	Moderado
H220	Físico	3	Elevado	H336	Saúde	2	Moderado
H221	Físico	2	Moderado	H340	Saúde	3	Elevado
H222	Físico	3	Elevado	H341	Saúde	3	Elevado
H223	Físico	2	Moderado	H350	Saúde	3	Elevado
H224	Físico	3	Elevado	H351	Saúde	3	Elevado
H225	Físico	3	Elevado	H360	Saúde	3	Elevado
H226	Físico	2	Moderado	H361	Saúde	3	Elevado
H227	Físico	2	Moderado	H362	Saúde	2	Moderado
H228 (category 1)	Físico	3	Elevado	H370	Saúde	3	Elevado
H228 (category 2)	Físico	2	Moderado	H371	Saúde	3	Elevado
H229	Físico	2	Moderado	H372	Saúde	3	Elevado
H230	Físico	3	Elevado	H373	Saúde	3	Elevado
H231	Físico	2	Moderado	H400	Ambiente	3	Elevado
H240	Físico	3	Elevado	H401	Ambiente	3	Elevado
H241	Físico	3	Elevado	H402	Ambiente	2	Moderado
H242 (Type C & D)	Físico	3	Elevado	H410	Ambiente	3	Elevado
H242 (Type E & F)	Físico	2	Moderado	H411	Ambiente	3	Elevado
H250	Físico	3	Elevado	H412	Ambiente	2	Moderado
H251	Físico	3	Elevado	H413	Ambiente	2	Moderado
H252	Físico	2	Moderado	H420	Ambiente	3	Elevado
H260	Físico	3	Elevado	EUH001	Físico	3	Elevado
H261(category2)	Físico	3	Elevado	EUH006	Físico	3	Elevado
H261(category3)	Físico	2	Moderado	EUH014	Físico	3	Elevado
H270	Físico	3	Elevado	EUH018	Físico	3	Elevado
H271	Físico	3	Elevado	EUH019	Físico	3	Elevado
H272(category2)	Físico	3	Elevado	EUH029	Saúde	3	Elevado
H272(category3)	Físico	2	Moderado	EUH031	Saúde	3	Elevado
H280	Físico	2	Moderado	EUH032	Saúde	3	Elevado
H281	Físico	2	Moderado	EUH044	Físico	3	Elevado
H290	Físico	2	Moderado	EUH059	Ambiente	3	Elevado
H300	Saúde	3	Elevado	EUH066	Saúde	2	Moderado
H301	Saúde	3	Elevado	EUH070	Saúde	3	Elevado
H302	Saúde	2	Moderado	EUH071	Saúde	3	Elevado
H303	Saúde	2	Moderado	EUH201	Saúde	3	Elevado
H304	Saúde	3	Elevado	EUH201A	Saúde	2	Moderado
H305	Saúde	2	Moderado	EUH202	Saúde	3	Elevado
H310	Saúde	3	Elevado	EUH203	Saúde	2	Moderado
H311	Saúde	3	Elevado	EUH204	Saúde	2	Moderado
H312	Saúde	2	Moderado	EUH205	Saúde	2	Moderado
H313	Saúde	2	Moderado	EUH206	Saúde	3	Elevado
H314	Saúde	3	Elevado	EUH207	Saúde	3	Elevado
H315	Saúde	2	Moderado	EUH208	Saúde	2	Moderado
H316	Saúde	2	Moderado	EUH209	Físico	3	Elevado
H317	Saúde	2	Moderado	EUH209A	Físico	2	Moderado
H318	Saúde	3	Elevado				
H319	Saúde	2	Moderado				
H320	Saúde	2	Moderado				

**Tabela 2** Critérios para classificar as substâncias relativamente à degradabilidade e renovabilidade

Características	Critérios	Pontuação (p)
<b>Degradabilidade</b>	Não degradáveis e que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
	Não degradáveis mas que possam ser tratadas para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	2
	Degradáveis com produtos de degradação inócuos	1
<b>Renovabilidade</b>	Não renováveis	3
	Renováveis	1

**Tabela 3** Pontuações (p) para construir a estrela verde

<b>Princípio da QV</b>	<b>Critérios</b>	<b>p</b>
<b>P1 – Prevenção</b>	Todos os resíduos são inócuos (p=1, tabela 1a)	<b>3</b>
	Resíduos que envolvam perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 1a, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3)	<b>2</b>
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 1)	<b>1</b>
<b>P2- Economia atômica</b>	Reações sem reagentes em excesso ( $\leq 10\%$ ) e sem formação de coprodutos	<b>3</b>
	Reações sem reagentes em excesso ( $\leq 10\%$ ) e com formação de coprodutos	<b>2</b>
	Reações com reagentes em excesso ( $> 10\%$ ) e sem formação de coprodutos	<b>2</b>
	Reações com reagentes em excesso ( $> 10\%$ ) e com formação de coprodutos	<b>1</b>
<b>P3 – Sínteses menos perigosas</b>	Todas as substâncias envolvidas são inócuas (p=1, tabela 1)	<b>3</b>
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3)	<b>2</b>
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 1)	<b>1</b>
<b>P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras</b>	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuas (p1, tabela 1)	<b>3</b>
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3)	<b>2</b>
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 1)	<b>1</b>
<b>P6 – Planificação para conseguir eficácia energética</b>	Temperatura e pressão ambientais	<b>3</b>
	Pressão ambiental e temperatura entre 0°C e 100°C que implique arrefecimento ou aquecimento	<b>2</b>
	Pressão diferente da ambiental e/ou temperatura $> 100$ °C ou menor do que 0 °C	<b>1</b>
<b>P7 – Uso de matérias primas renováveis</b>	Todos os reagentes/matérias-primas envolvidos são renováveis (p=1, tabela 2)	<b>3</b>
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água (p=1, tabela 2)	<b>2</b>
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água (p=3, tabela 2)	<b>1</b>
<b>P8 – Redução de derivatizações</b>	Sem derivatizações ou com uma etapa	<b>3</b>
	Usa-se apenas uma derivatização ou duas etapas	<b>2</b>
	Usam-se várias derivatizações ou mais do que duas etapas	<b>1</b>
<b>P9 – Catalisadores</b>	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos (p1, tabela 1)	<b>3</b>
	Utilizam-se catalisadores que envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 1)	<b>2</b>
	Utilizam catalisadores que envolvem perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 1)	<b>1</b>
<b>P10 – Planificação para a degradação</b>	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos (p=1, tabela 2)	<b>3</b>
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratados para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos (p=2, tabela 2)	<b>2</b>
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratado para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos (p=3, tabela 2)	<b>1</b>
<b>P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes</b>	As substâncias envolvidas apresentam perigo baixo de acidente químico (p=1, tabela 1, considerando os perigos físicos e de saúde)	<b>3</b>
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico (p=2, tabela 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3, considerando os perigos físicos e de saúde)	<b>2</b>
	As substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico (p=3, tabela 1, considerando os perigos físicos e de saúde)	<b>1</b>